



การผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้
เพื่อประยุกต์ใช้ในงานผนังภายในอาคาร

โดย

ภควัต พฤกษาจรีเวโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2567

PRODUCTION OF CEMENT BOARDS MIXED WITH PET PLASTIC
AND COTTON WASTE FOR INTERIOR WALL CONSTRUCTION

BY

PAKAWAT PHRUKSAJAREEWAROJ



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE
ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2024

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

ภควัด พฤชาจรีเวโรจน์

เรื่อง

การผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้
เพื่อประยุกต์ใช้ในงานผนังภายในอาคาร

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2568

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ศาสตราจารย์ ดร. ญัฐ มากุล)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ศรีศักดิ์ พัฒนาศิน)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้เพื่อประยุกต์ใช้ในงานผนังภายในอาคาร
ชื่อผู้เขียน	ภควัต พุกษาจรีเวโรจน์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุทางสถาปัตยกรรมต้นทุนต่ำโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมและขยะรีไซเคิล ได้แก่ เศษฝ้ายและเศษพลาสติก PET โดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ปัจจุบันการนำขยะรีไซเคิลกลับมาใช้ประโยชน์ยังมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการฝังกลบ การนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดงบประมาณในการจัดการของเสีย และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์จากเศษฝ้ายเหลือใช้จากอุตสาหกรรมสามารถช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการกระบวนการรีไซเคิล ในปัจจุบัน ภาคการก่อสร้างและสถาปัตยกรรมให้ความสำคัญกับการใช้วัสดุทางเลือกและวัสดุรีไซเคิลมากขึ้น เพื่อเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดปริมาณเศษวัสดุ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากเศษฝ้ายและเศษพลาสติก PET แล้วนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อนตามมาตรฐานอุตสาหกรรม และเปรียบเทียบกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดเชิงพาณิชย์ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายในส่วนผสม ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง แต่ค่าสมบัติทางความร้อนมีผลดีขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง แสดงถึงคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะของ PET และฝ้ายที่เป็นฉนวนความร้อนตามธรรมชาติ สัดส่วนผสมที่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1427-2561) ชนิดที่ 2 ประเภทที่ไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรง ซึ่งกำหนดให้มีค่าโมดูลัสการแตกร้าวไม่ต่ำกว่า 7 MPa ได้แก่ สัดส่วนผสม C10C0, C10C2 และ C15C0 ผลจากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำ

วัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีสมบัติตามมาตรฐานเพื่อประยุกต์ใช้ในงานผนังภายในได้
อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ซีเมนต์บอร์ด, สมบัติทางกายภาพ, สมบัติเชิงกล, สมบัติทางความร้อน, พลาสติก PET,
เศษฝ้ายเหลือใช้



Thesis Title	PRODUCTION OF CEMENT BOARDS MIXED WITH PET PLASTIC AND COTTON WASTE FOR INTERIOR WALL CONSTRUCTION
Author	Pakawat Phruksajareewaroj
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Professor Pusit Lertwattanakul, Ph.D.
Academic Year	2024

ABSTRACT

This research aims to develop low-cost architectural materials by utilizing industrial waste and recycled materials, specifically cotton scraps and PET plastic waste, with Portland cement paste as the binding agent. At present, the reuse of recycled waste remains limited compared to landfill disposal. Therefore, reusing such waste materials presents an effective approach to reducing the consumption of natural resources, lowering the costs associated with waste management, and mitigating environmental impacts. In particular, the reuse of cotton waste from industrial processes can reduce the energy required for recycling. In the construction and architectural sectors, there is increasing emphasis on using alternative and recycled materials to reduce environmental degradation and minimize material waste. In this study, cement boards were produced using cotton and PET plastic waste and tested for their physical, mechanical, and thermal properties in accordance with industrial standards. The results were then compared with commercially available cement boards. The findings revealed that increasing the amount of PET plastic and cotton waste in the mixtures led to higher water absorption and decreased compressive strength. However, the thermal conductivity coefficients decreased, indicating improved thermal insulation properties, owing to the natural insulating characteristics

of PET and cotton. The mix proportions that met the criteria of the Thai Industrial Standard TIS 1427-2561 (Type 2)—which requires a modulus of rupture of not less than 7 MPa were C10C0, C10C2, and C15C0. Results from this research can be used as a guideline for the use of waste materials to produce cement boards conforming to the standards for Interior wall construction.

Keywords: Cement Board, Physical Properties, Mechanical Properties, Thermal Properties, Plastic PET, Cotton Waste



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจาก ศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ ที่คอยให้คำปรึกษาทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย รวมถึงช่วยให้คำแนะนำวิธีการแก้ปัญหาและอุปสรรคระหว่างทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ณัฐ มาณกุล ที่คอยให้คำปรึกษาทั้งหลักการ ทฤษฎี และข้อมูลในขั้นตอนการผลิตวัสดุ รวมถึงคอยช่วยเหลือสนับสนุนห้องทดสอบ อุปกรณ์ในการผลิตวัสดุ และอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลผลการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ศรีศักดิ์ พัฒนาศิน ที่ให้ความอนุเคราะห์และให้คำปรึกษาแนะนำด้านการนำวัสดุมาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัว พกษาจรีเวโรจน์ ที่คอยให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังสำคัญในทุกด้านของผู้วิจัยอย่างยิ่ง ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อวงการวิชาการและวงการสถาปัตยกรรมไม่มากนักน้อย คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภควัต พกษาจรีเวโรจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6 นิยามศัพท์	6
1.7 กรอบแนวความคิด	7
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 พลาสติก	8
2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)	8
2.1.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic)	9
2.2 พลาสติก PET	11
2.2.1 สมบัติของแผ่นซีเมนต์ผสมพลาสติก PET	12
2.3 ของเสียจากอุตสาหกรรม	12

2.4	เส้นใยธรรมชาติ	13
2.5	คอนกรีตผสมเส้นใย	14
2.5.1	โครงสร้างของคอนกรีตผสมเส้นใย	15
2.5.2	สมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใย	16
2.6	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางความร้อนของวัสดุ	20
2.6.1	ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)	20
2.6.2	ฉนวนกันความร้อน	21
2.7	วัสดุผนังซีเมนต์บอร์ดในงานสถาปัตยกรรม	23
2.8	สมบัติทางกายภาพ และเชิงกลเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์บอร์ด	26
2.8.1	สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์บอร์ด	26
บทที่ 3 วิธีการวิจัย		29
3.1	การกำหนดตัวแปร	29
3.2	การเตรียมฝ้ายเพื่อใช้ในการผสม	30
3.3	ทดสอบการดูดซึมน้ำของฝ้าย	31
3.4	การผลิตมอร์ตาร์	32
3.5	การทดสอบ	34
3.5.1	การเตรียมเครื่องการทดสอบก้อนมอร์ตาร์และแผ่นซีเมนต์บอร์ด ตัวอย่าง	34
3.5.2	การทดสอบก้อนมอร์ตาร์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย	34
3.5.2.1	การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	34
3.5.2.2	การทดสอบหาค่าความหนาแน่นปรากฏ	35
3.5.2.3	การทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์	35
3.5.2.4	การทดสอบโมดูลัสแตกร้าว	36
3.5.2.5	การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	37
3.5.2.6	การวิเคราะห์ข้อมูล	38
3.5.2.7	การประยุกต์ใช้งานในงานสถาปัตยกรรม	38

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	39
4.1 ผลการทดสอบวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย	39
4.1.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏ	39
4.1.2 ผลทดสอบกำลังรับแรงอัด	45
4.1.3 ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว	48
4.1.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	53
4.1.5 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และ เศษฝ้ายกับวัสดุในท้องตลาด	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	63
5.1 ข้อเสนอจากการศึกษาวิจัย	64
5.1.1 สมบัติทางกายภาพ	64
5.1.2 สมบัติทางกล	64
5.1.3 สมบัติทางความร้อน	65
5.1.4 การเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้กับวัสดุในท้องตลาด	66
5.2 การประยุกต์ใช้วัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายในงาน สถาปัตยกรรม	68
5.2.1 วัสดุผนัง	67
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	68
5.3.1 ข้อจำกัดในการวิจัย	68
5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต	68
รายการอ้างอิง	69
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	73
ภาคผนวก ข	75

ภาคผนวก ค	79
ภาคผนวก ง	82
ภาคผนวก จ	83



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขยะทะเลที่พบในประเทศไทยและระยะเวลาย่อยสลาย	2
2.1 ตารางสมบัติของพลาสติก PET	11
2.2 กากอุตสาหกรรมไม่อันตราย	12
2.3 วัสดุผสมซีเมนต์ ส่วนผสมของพลาสติกและเส้นใยต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์	17
2.4 กำลังรับแรงอัดและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ผสม เศษพลาสติก PET	18
2.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความจุความร้อนของวัสดุรีไซเคิล	19
2.6 ส่วนประกอบ สมบัติ และข้อดีของวัสดุผนัง	24
2.7 ข้อมูลทางเทคนิคผลิตภัณฑ์ซีเมนต์บอร์ด	27
2.8 ความหนาของวัสดุผนังและการนำไปใช้งาน	27
3.1 ส่วนผสมวัสดุผสมซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา	33
3.2 ขนาดของตัวอย่างทดสอบ	34
4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏ	40
4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ขนาด 5.0 x 5.0 x 5.0 เซนติเมตรที่ 7 14 และ 28 วัน	45
4.3 ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว	48
4.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	54
4.5 ต้นทุนการผลิตของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย	61
4.6 ราคาแผ่นซีเมนต์บอร์ดต่อตารางเมตร	61
5.1 สมบัติของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้กับวัสดุใน ท้องตลาด	66

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ปริมาณขยะมูลฝอยภายในประเทศ	1
1.2 การจัดการขยะพลาสติก PET ในประเทศไทย	3
1.3 กรอบแนวความคิด	7
2.1 โครงสร้างและการเรียงตัวของโมเลกุลของพลาสติก	10
2.2 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตเรซินของ PET	11
2.3 ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใย	15
2.4 แผนภูมิแสดงกำลังรับแรงอัดต่อร้อยละอัตราส่วนของฝ้าย	19
2.5 ประเภทของวัสดุผนัง	24
2.6 โครงสร้างผนังซีเมนต์บอร์ด	28
3.1 การเตรียมฝ้ายเพื่อใช้ในการผสม	30
3.2 ทดสอบการดูดซึมน้ำของฝ้าย	31
3.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	36
3.4 ตำแหน่งการวัดความหนาตามรอยแตกหักของชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	36
3.5 Hot Disk Thermal Constant Analyzer (TCA)	37
4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏ	41
4.2 ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสม เศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	41
4.3 ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสม เศษฝ้าย ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	42
4.4 ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสม เศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์	43
4.5 ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสม เศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์	43
4.6 ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสม เศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์	44

4.7	กำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย ที่อายุ 7 วัน	46
4.8	กำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย ที่อายุ 14 วัน	46
4.9	กำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย ที่อายุ 28 วัน	47
4.10	โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย	49
4.11	โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	49
4.12	โมดูลัสแตกร้าวของโมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษฝ้ายที่ ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	50
4.13	โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	51
4.14	โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	51
4.15	โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	52
4.16	โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุม ซีเมนต์บอร์ดผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย และวัสดุในท้องตลาด	53
4.17	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)	55
4.18	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	55
4.19	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	56
4.20	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	56
4.21	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	57
4.22	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์	57

4.23	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสม เศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายกับวัสดุผนังในท้องตลาด	59
5.1	ลักษณะการติดตั้งวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายสำหรับผนังเบา	67



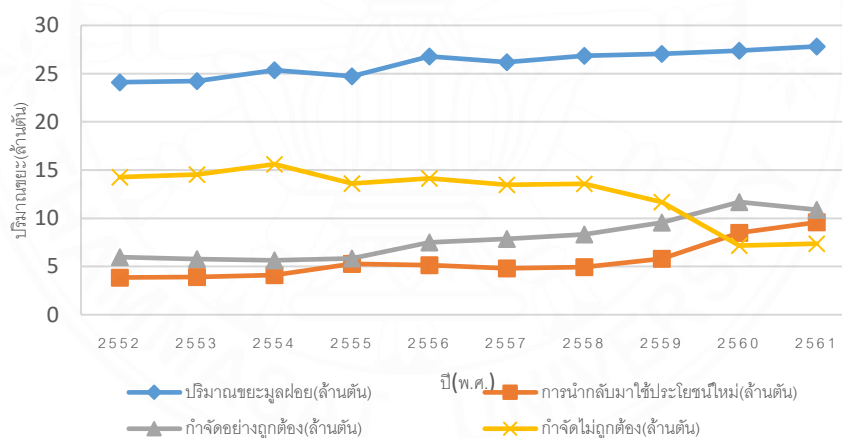
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ ใน พ.ศ. 2561 ประมาณ 27.93 ล้านตันเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.05 จาก พ.ศ. 2560 ที่มีปริมาณ 27.37 ล้านตัน มีที่กำจัดขยะแบบถูกต้องและนำกลับไปใช้ประโยชน์ 9.58 ล้านตัน (ร้อยละ 34) ส่วนใหญ่เป็นการใช้ประโยชน์จากขยะรีไซเคิลและทำปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนที่เหลือเป็นขยะที่ถูกกำจัดอย่างไม่ถูกต้องประมาณ 7.36 ล้านตัน (ร้อยละ 27) ดังภาพที่ 1.1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

ภาพที่ 1.1

ปริมาณขยะมูลฝอยภายในประเทศ



หมายเหตุ. ปริมาณขยะมูลฝอยภายในประเทศ. จาก กรมควบคุมมลพิษ, 2561|

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโฟมมากถึง 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 7,000 ตันต่อวัน แบ่งเป็นถุงพลาสติกร้อยละ 80 หรือ 5,300 ตันต่อวัน หรือประมาณ 2 ล้านตัน ส่วนที่เหลือเป็นขยะโฟม ประมาณ 700,000 ตัน ใช้เวลาย่อยสลายยาวนานถึง 450 ปี ทั้งนี้ พบว่าขยะพลาสติกร้อยละ 50 กำจัดไม่ถูกวิธี ที่สำคัญขยะพลาสติกและโฟมหากใช้วิธีฝังกลบจะใช้พื้นที่มากกว่าขยะปกติถึง 3 เท่า หรือหากนำไปเผาทำลายจะทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างมาก รวมทั้ง

มีสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก เนื่องจากถุงพลาสติกทำจากเม็ดปิโตรเลียมทำให้มีการปนเปื้อนของสารตกค้างในดินและน้ำ ส่งผลก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก สาเหตุของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน (ดาร์พงษ์ รัตนสุวรรณ, 2561)

จากการสำรวจข้อมูลของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ระบุว่า ในปี 2561 ประเทศไทยมีปริมาณขยะ 27 ล้านตัน คิดเป็น 71,764 ตันต่อวัน ในจำนวนนี้มีขยะจำนวน 7.36 ล้านตัน ที่ถูกนำไปกำจัดไม่ถูกต้องและไหลลงสู่ทะเล เมื่อพิจารณาแหล่งที่มาของขยะทะเล พบว่าสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมบนบก 80% เช่น มาจากบ้านเรือนหรือชุมชน แหล่งทิ้งขยะบนฝั่ง บริเวณท่าเรือ และการท่องเที่ยวชายหาด ส่วนอีก 20% มาจากกิจกรรมทางทะเล เช่น การขนส่งทางทะเล การทำการประมงในทะเลจากเรือพาณิชย์หรือเรือประมง และการท่องเที่ยวทางทะเล (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561)

ตารางที่ 1.1

ขยะทะเลที่พบในประเทศไทยและระยะเวลาย่อยสลาย

อันดับ	ชนิด	ปริมาณที่พบ	ระยะเวลาย่อยสลาย
1	ถุงพลาสติก	18 %	400 ปี
2	ขวดพลาสติก	17 %	400 ปี
3	ขวดแก้ว	11 %	ไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ
4	ถ้วยโฟม/กล่องโฟม	9 %	ไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ
5	หลอดพลาสติก	5 %	200 ปี
6	เชือก	4 %	1-5 ปี
7	กระป๋องเครื่องดื่มอลูมิเนียม	4 %	200 ปี
8	ฝาขวดน้ำ	3%	400 ปี
9	ก้นบุหรี่		12 ปี
10	เศษอวน		600 ปี

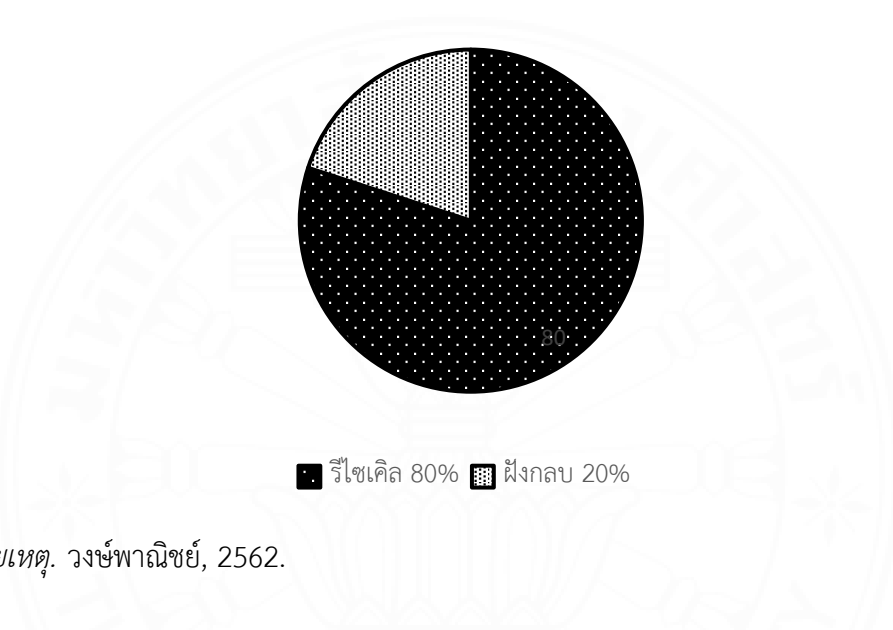
หมายเหตุ. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561.

ประเทศไทยมีขยะ 27.93 ล้านตัน แบ่งเป็นขยะพลาสติกอยู่ราว 2 ล้านตัน เป็นขวดพลาสติก PET จำนวน 330,000 ตันต่อปี แบ่งเป็น ขวดพลาสติกชนิดขาวใส 280,500 ตันต่อปี ขวดพลาสติกชนิดขาวออกฟ้า 222,500 ตันต่อปี เป็นแผ่นฟิล์มสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ใส่อาหาร และบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ 45,900 ตันต่อปี ปัจจุบันการรีไซเคิลพลาสติก PET ในประเทศไทยสามารถจัดการได้

ประมาณ 80% ของพลาสติก PET ทั้งหมด ส่วนที่เหลือ 20% ต้องถูกนำไปฝังกลบ ดังภาพที่ 1.2 (วงษ์พาณิชย์, 2562)

ภาพที่ 1.2

การจัดการขยะพลาสติก PET ในประเทศไทย



หมายเหตุ. วงษ์พาณิชย์, 2562.

ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมเข้าสู่ระบบการจัดการทั้งหมด 22.02 ล้านตัน เป็นกากอุตสาหกรรมที่ไม่เป็นอันตราย 20.82 ล้านตัน โดยมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยการเผาเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าในปริมาณ 7.2 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

การใช้ประโยชน์จากขยะรีไซเคิล เมื่อเทียบกับขยะฝังกลบแล้วมีปริมาณที่ต่ำกว่า จากข้อมูลการใช้ประโยชน์จากวัสดุรีไซเคิลในอุตสาหกรรม พบว่าอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทมีอัตราการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์

อุตสาหกรรมสิ่งทอในการผลิตเส้นด้ายจากการปั่นเส้นใยฝ้ายที่มีหลายขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะของความต้องการความยาวของเส้นใยฝ้ายที่แตกต่างกัน เศษเส้นใยฝ้ายที่ตกได้ เครื่องสำอางมีลักษณะเป็นเศษเส้นใยฝ้ายเล็ก ๆ และมีเปลือกฝ้ายปะปนอยู่เล็กน้อยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยส่วนมากในอุตสาหกรรมจะนำเส้นใยเหลือใช้เหล่านี้มากำจัดโดยวิธีการฝังกลบและวิธีการเผาเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า

การนำวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ กลับมาใช้ประโยชน์ถือเป็นการช่วยลดการใช้ทรัพยากร ลดการใช้งบประมาณในการนำไปกำจัดและการใช้เศษฝ้ายที่เป็นกากเหลือใช้จาก

อุตสาหกรรมกลับมาใช้สามารถช่วยในการลดปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการปลูกฝ้ายและลดพลังงานที่ใช้ในการรีไซเคิลฝ้ายเป็นการช่วยในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะและช่วยรักษาทรัพยากรธรรมชาติ

ในปัจจุบันงานก่อสร้างและงานสถาปัตยกรรมคำนึงถึงการใช้วัสดุทดแทนวัสดุธรรมชาติและใช้วัสดุรีไซเคิลเพิ่มสูงขึ้น เพื่อลดการทำลายธรรมชาติและลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวคิดพัฒนาวัสดุทางสถาปัตยกรรม ที่มีต้นทุนต่ำในการผลิตและใช้วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมและขยะรีไซเคิล ได้แก่ พลาสติก PET และฝ้ายเศษฝ้ายเหลือใช้ โดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุผสมนำมาทดสอบด้านกำลังรับแรงเพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม และทดสอบด้านการถ่ายเทความร้อนเพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสัดส่วนผสมของวัสดุซีเมนต์ที่ผลิตจากซีเมนต์ ทราย น้ำ เศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานผนังภายในอาคาร
2. ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อนระหว่างซีเมนต์บอร์ดที่ผลิตจากเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้กับวัสดุก่อสร้างผนังภายในอาคารที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน
3. เสนอแนวทางการใช้แผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผลิตได้เพื่อเป็นวัสดุผนังภายในอาคาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาวัสดุผสมซีเมนต์ผสมพลาสติก PET จากการใช้รีไซเคิลและเศษฝ้ายเหลือใช้
2. พลาสติก PET รีไซเคิลที่ใช้ในการศึกษาเป็นพลาสติกที่ไม่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลด้วยความร้อน
3. เศษฝ้ายที่ใช้ในการศึกษาเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ
4. วัสดุผสมที่ใช้ คือ ซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำ
5. วัสดุผสมรวมที่ใช้ คือ ทรายจากแม่น้ำ พลาสติก PET จากการใช้รีไซเคิลโดยใช้เป็น วัสดุทดแทนปริมาตรทรายโดยน้ำหนักของทราย และเศษฝ้ายเหลือใช้โดยการเพิ่มอัตราส่วนจากน้ำหนักของปูนซีเมนต์

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับงานอาคาร ซึ่งมีระเบียบวิธีการดังต่อไปนี้

1.4.1 การศึกษาหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเบื้องต้น

1. ศึกษาคุณสมบัติของพลาสติก PET และเศษฝ้าย
2. การผลิต วัสดุดิบ อัตราส่วนการผสม

1.4.2 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. วัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบทางกายภาพตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน ได้แก่ Hot Disk Thermal Constant Analyzer (TCA)
4. การทดสอบความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้

1.4.3 ศึกษาเชิงการปฏิบัติการ โดยออกแบบการทดลองตามที่กำหนด

1. ศึกษาสมบัติของแผ่นซีเมนต์เส้นใย อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.1427-2561 ประกอบด้วย ความหนาแน่นปรากฏ และโมดูลัสแตกร้าว
2. ศึกษาสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) อ้างอิง ตามมาตรฐาน มอก. 409-2525
3. ศึกษาความสัมพันธ์การนำความร้อน อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C177
4. วิเคราะห์และสรุปผล

1) วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของวัสดุสถาปัตยกรรมที่ผลิตได้

2) สรุปผลการศึกษาวัดก่อสร้างที่ผลิตได้ และนำเสนอแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้
2. ลดปริมาณของเสียของภาคอุตสาหกรรม และการกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ลดการใช้พลังงานในการแปรรูปเม็ดพลาสติกสำหรับการรีไซเคิลพลาสติก PET

1.6 นิยามศัพท์

รีไซเคิล หมายถึง การจัดการวัสดุเหลือใช้ที่กำลังจะเป็นขยะ โดยนำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ เช่น การหลอม เพื่อให้เป็นวัสดุใหม่แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งวัสดุที่ผ่านการแปรสภาพนั้น อาจจะเป็นผลิตภัณฑ์เดิมหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ได้

พลาสติก PET หมายถึง พลาสติกโพลีเอทิลีนเทอพาทาเลต (Polyethylene Terephthalate) หรือที่เรียกกันโดยย่อว่า “เพท” (PET) เป็นพลาสติกเทอร์โมพลาสติก (หลอมที่อุณหภูมิสูงและแข็งตัวเมื่อเย็น) ที่ผลิตขึ้นได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเอทิลีนไกลคอล และ ไดมethylเทอพาทาเลต หรือระหว่างสารเอทิลีนไกลคอลและกรดเทอพาทาลิก แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ ไดมethylเทอพาทาเลต บรรจุภัณฑ์นิยมใช้บรรจุน้ำเนื่องจากค่าการซึมผ่านของสารนั้นต่ำมาก แม้กระทั่งออกซิเจนและสามารถทนความร้อนได้สูง

เศษฝ้ายเหลือใช้ หมายถึง เศษเส้นใยฝ้ายที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นเศษเส้นใย สิ่งทอที่ยังไม่ได้ผ่านการพอกย้อม 04 02 21 (รหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว) นิยมนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ การเผาทำลาย และการใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงาน

วัสดุผสมซีเมนต์ หมายถึง วัสดุประกอบที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุผสมกับวัสดุอื่นๆที่ทำหน้าที่เป็นมวลรวม

ซีเมนต์บอร์ต หมายถึง มอร์ตาร์ซึ่งเกิดจากการผสมกันระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมนำมาหล่อในแบบที่เป็นลักษณะแผ่น เป็นวัสดุในการก่อสร้างที่นิยมนำไปทำเป็นผนังและพื้น

1.7 กรอบแนวความคิด

ภาพที่ 1.3

กรอบแนวความคิด



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก

พลาสติก เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นก็แข็งตัวเมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดแข็งตัวถาวรมีหลายชนิด เช่น ไนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า ฟิล์ม ภาชนะ ส่วนประกอบของยานพาหนะ (ปราโมทย์ ทองเนียม, 2553) โดยพลาสติกสามารถแบ่งออกตามชนิดที่มีสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือ เรซิน เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว พลาสติกชนิดนี้มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นลักษณะโซ่ตรงยาว การเชื่อมต่อกันของโซ่โพลิเมอร์ต่ำ ความหนาแน่นจึงต่ำและสามารถหลอมเพื่อขึ้นรูปนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ด้วยความหนาแน่นที่ต่ำของพลาสติกชนิดนี้จึงส่งผลให้คุณสมบัติทางด้านความร้อนมีความใกล้เคียงวัสดุที่เป็นฉนวน ชนิดของเทอร์โมพลาสติกนั้นมีหลายชนิด ดังนี้

1) โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) มีลักษณะขุ่น ทนความร้อนได้พอสมควร มีความหนาแน่นสามระดับ ต่ำ ปานกลาง และสูง แต่ความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงสามารถลอยน้ำได้ เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้พลาสติกมีความเหนียวเพิ่มขึ้น จุดหลอมอยู่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นและอัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความหนาแน่นลดลงจะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของพลาสติกเพิ่มขึ้น

2) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) มีลักษณะขาวขุ่นทึบแสงกว่าโพลีเอทิลีน มีความหนาแน่นในช่วง 0.890 - 0.905 ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกับโพลีเอทิลีนจะมีความเหนียวเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 105 องศาฟาเรนไฮต์ ไปจนถึง 15 องศาฟาเรนไฮต์ (40 องศาเซลเซียสถึง -10 องศาเซลเซียส) แต่ที่ 0 องศาฟาเรนไฮต์จะเปราะ

3) โพลีสไตรีน (Polystyrene: PS) เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็ง เปราะแตกได้ง่ายแต่สามารถทำให้เหนียวขึ้นได้ด้วยการเติมยางสังเคราะห์บิวทาไดอีน ซึ่งจะเรียกว่าสไตรีนทนแรงอัดสูง (High impact styrene) และเมื่อรวมตัวกับพอลิเมอร์อื่นจะทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป เช่น มีความเหนียวและความแข็งเพิ่มขึ้น ทนความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจุดหลอมตัวสูงขึ้น

โพลีสไตรีนบริสุทธิ์มีลักษณะใสคล้ายกระจก โพลีสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงกว้าง

4) อะครีโลไนไทรล์ บิวทาไดอิน สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene: ABS) สร้างขึ้นโดยใช้โพลีเมอร์สองชนิดก็คือ อะครีโลไนไทรล์ และสไตรีน ด้วยการละลายในยางโพลีบิวทาไดอินกลายเป็นโซโพลีเมอร์โดยเชื่อมติดกับโมเลกุลของยาง ดังนั้นความแข็งแรงจึงเพิ่มมากขึ้น พลาสติกชนิดนี้มีความโดดเด่นในด้านความแข็ง ความแวววาว ความเหนียว และสมบัติในการเป็นฉนวน

5) โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดในกลุ่มไวนิลด้วยกัน เดิมมีลักษณะขุ่นทึบแต่สามารถผสมสีได้เป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี ไม่ติดไฟ และสามารถดับไฟได้ เป็นทั้งของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่มเหนียวในตัว

6) ไนลอน (Nylon) เป็นโพลีเมอร์ที่คงความแข็งแรง สามารถอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง และมีความเหนียว (Toughness) แม้มันที่อุณหภูมิต่ำ ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ Low Friction Coefficient ทนทานต่อการสึกหรอ (Wear) และการขัดถู (Abrasion) ตลอดจนทนทานต่อสารเคมีต่าง ๆ

7) โพลีเอทิลีน เทอระฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) เกิดจากปฏิกิริยาของกรดเทเรพทาอิก และเอทิลีนไกลคอล ทำให้ได้โมโนเมอร์ของพีอีที โมเลกุลจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงเป็นพลาสติกที่แข็งแรง ทนต่อการฉีกขาดได้ดี ซึ่งใช้ผลิตฟิล์มและเส้นใยโพลีเอสเตอร์ พีอีทีใช้กระบวนการ Injection Molding ในการผลิต

8) โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) เป็นพลาสติกที่โปร่งใสมีความแข็งแรง สามารถต้านทานการขีดข่วนได้ดีจึงมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ทดแทนแก้วหรือกระจกมีลักษณะเป็นเม็ดใสเป็นผง และเป็นแผ่นเหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์

9) พอลิเททระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene: PTFE) เป็นพลาสติกชนิดพิเศษหรือถูกเรียกอีกชื่อว่า เทพลอน มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีมาก และทนความร้อนได้สูงมากดังนั้นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้องใช้ความร้อนสูง ลักษณะสีขาวขุ่นผิวมีความลื่นมัน

2.1.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic)

เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic) เป็นพลาสติกที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี มีโมเลกุลเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงคงรูปหลังจากผ่านความร้อนเพียงครั้งเดียว ไม่สามารถหลอมนำกลับมาใช้ใหม่ได้เนื่องจากเกิดการเชื่อมต่อกันไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของโพลีเมอร์ (Cross Linking Among Polymer Chains) เทอร์โมเซตติงพลาสติกมีดังนี้

1) เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันของเมลามีนกับฟอรัมาลดีไฮด์ มีโครงสร้างเป็นโครงข่ายร่างแหหนาแน่นทั้งสามมิติจึงแข็งแรงมาก ลักษณะเป็นสีขุ่นมีทั้งเป็นผงและเป็นเม็ด เหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์

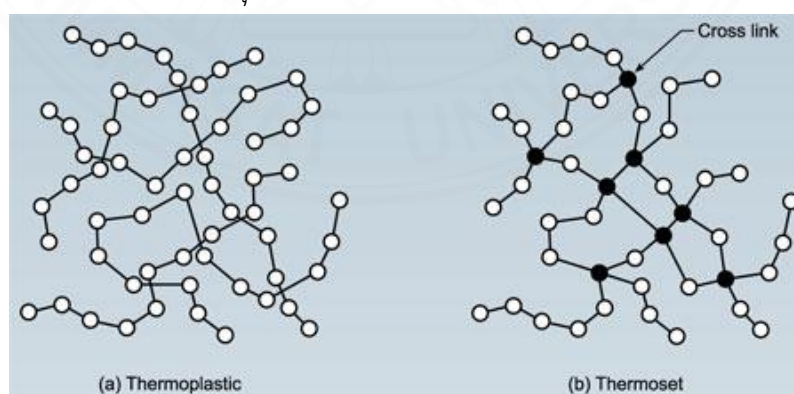
2) ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde) ลักษณะเป็นสีน้ำตาลมีความแข็งแรงและอยู่ตัวมีทั้งแบบเหลวใส และผง แบบเหลวเหมาะสำหรับหล่อในพิมพ์ และแบบผงเหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ซึ่งชนิดหลังนี้มีสีน้ำตาลดำเท่านั้น ทนความร้อนได้สูงถึง 260 องศาเซลเซียส

3) อีพ็อกซี (Epoxy) เป็นพลาสติกเหลวที่แยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนเนื้ออีพ็อกซีซึ่งทำมาจาก Bis-Epi Resin และส่วนเนื้อแข็ง (Hardener) ส่วนมากจะทำมาจากอะมีน (Amine) หรืออะไมด์ (Amide) เมื่อผสมเข้ากับอีพ็อกซีแล้วจะให้คุณสมบัติที่มีความแตกต่างกัน อีพ็อกซีเมื่อแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้กลับไปสู่สภาพของเหลวได้อีก มีคุณสมบัติในการยึดเกาะสูงและทนต่อแรงดึงมาก

4) โพลียูรีเทน (Polyurethane) เกิดจากปฏิกิริยาของโพลีออลกับไดไอโซไซยาเนตหรือโพลีเมอริก ไดไอโซไซยาเนต โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม สามารถผลิตออกมาได้หลายรูปแบบได้แก่ เป็นโฟมยืดหยุ่น โฟมแข็ง สารเคลือบป้องกันสารเคมี กาว สารฉนวน และอีลาสโตเมอร์

ภาพที่ 2.1

โครงสร้างและการเรียงตัวของโมเลกุลของพลาสติก



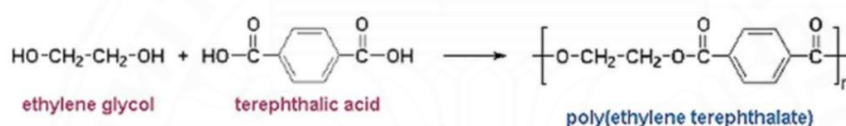
หมายเหตุ. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรและโลหะการ, 2556.

2.2 พลาสติก PET

พลาสติก PET เป็นเทอร์โมพลาสติกที่จัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเตอร์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation Polymerization) ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทิลีนไกลคอลกับไดเมทิลเทเรฟทาเลต หรือ ระหว่างเอทิลีนไกลคอลกับกรดเทเรฟทาสิก โดยทั่วไป PET มีจุดหลอมเหลวประมาณ 260°C ความหนาแน่น 1.38 g/cm³ (ที่ 20 °C) และดัชนีหักเหของแสงอยู่ในช่วง 1.57-1.58 โครงสร้างทางเคมีของ PET แสดงดัง ภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตเรซินของ PET



หมายเหตุ. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2556.

ตารางที่ 2.1

ตารางสมบัติของพลาสติก PET

สมบัติของพลาสติก PET	
สัมประสิทธิ์การขยายทางความร้อน (Thermal Expansion)	~ 70x10 ⁻⁶ .K ⁻¹
ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)	0.24 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)	1.04 – 1.05 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
อุณหภูมิที่สามารถใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ได้ (Service Temperature)	(- 40) – 100°C
ความหนาแน่น (Density)	1,380 kg.m ⁻³
ความยืดหยุ่นของวัสดุ (Youngs Modulus)	~ 3100 MPa
ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)	~ 70 MPa
การยืดตัว (Elongation)	~ 130%

หมายเหตุ. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2556.

2.2.1 สมบัติของแผ่นซีเมนต์ผสมพลาสติก PET

ผลการศึกษามอร์ตาร์ที่ผสมเกล็ดพลาสติกและเส้นใยพลาสติก พบว่า การเพิ่มปริมาณพลาสติกในส่วนผสมของวัสดุ ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความพรุนและความสามารถในการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้นและความหนาแน่นมีค่าลดลง และคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัด มีค่าต่ำลงและคุณสมบัติทางความร้อน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความต้านทานความร้อน แสดงถึงการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้น เนื่องจากการแทนที่ของเกล็ดและเส้นใยพลาสติกในส่วนผสมทำให้มอร์ตาร์มีโพรงอากาศหรือรูพรุนมากขึ้น (ณรงค์ฤทธิ์ พิพัฒน์กิติราช, 2556)

2.3 ของเสียจากอุตสาหกรรม

ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือกากอุตสาหกรรม ซึ่งตามประกาศกระทรวงฯ ใช้คำว่า “สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว” หมายถึง สิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงาน รวมถึงของเสียจากวัตถุดิบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

ของเสียจากกระบวนการผลิตหลักเป็นของเสียที่เกิดขึ้นตอนต่างๆ ในกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบให้เป็น ผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ชนิดของเสียจากกระบวนการผลิตหลักจึงแตกต่างกันในแต่ละประเภท อุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่จะเป็นเศษวัตถุดิบและเศษเหลือของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ขนาดหรือคุณภาพ จำแนกเป็นกากอุตสาหกรรมไม่อันตราย ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

กากอุตสาหกรรมไม่อันตราย

รหัสของกากอุตสาหกรรม	ชนิดของกากอุตสาหกรรม
01	ของเสียจากการสำรวจ การทำเหมืองแร่ การทำเหมืองหิน และการปรับสภาพแร่ธาตุโดยวิธีกายภาพและเคมี
02	ของเสียจากเกษตรกรรม การเพาะปลูกพืชสวน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การทำป่า การล่าสัตว์ การประมง การแปรรูปอาหารต่างๆ
03	ของเสียจากกระบวนการผลิตไม้ และการผลิตแผ่นไม้ เครื่องเรือน กระดาษ หรือกระดาษแข็ง
04	ของเสียจากอุตสาหกรรมเครื่องหนัง ขนสัตว์ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ
05	ของเสียจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม การแยกก๊าซธรรมชาติ และกระบวนการบำบัดถ่านหินโดยการเผาแบบไม่ใช้ออกซิเจน
06	ของเสียจากกระบวนการผลิตสารอนินทรีย์ต่างๆ
07	ของเสียจากกระบวนการผลิตสารอินทรีย์ต่างๆ

ตารางที่ 2.2

กากอุตสาหกรรมไม่อันตราย (ต่อ)

รหัสของกากอุตสาหกรรม	ชนิดของกากอุตสาหกรรม
08	ของเสียจากการผลิต การผสมตามสูตร การจัดส่งและการใช้งานของ สารเคลือบเงา สารเคลือบผิวการ สารติดฉนวน และหมึกพิมพ์
09	ของเสียจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพ
10	ของเสียจากกระบวนการใช้ความร้อน
11	ของเสียจากการปรับสภาพผิวโลหะและวัสดุต่างๆด้วยวิธีเคมี รวมทั้งการชุบเคลือบผิว และของเสียจากกระบวนการ non-ferrous hydro-metallurgy
12	ของเสียจากการตัดแต่ง และปรับสภาพผิวโลหะพลาสติก ด้วยกระบวนการทางกายภาพ หรือเชิงกล
13	ของเสียประเภท น้ำมันและเชื้อเพลิงเหลว ไม่รวมน้ำมันที่บริโภคได้
14	ของเสียที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ สารทำความสะอาด สารซักเคลื่อน ไม่รวมของเสียรหัส 07 และ 08
15	ของเสียประเภทบรรจุภัณฑ์ วัสดุดูดซับ ผ้าสำหรับเช็ดวัสดุตัวกรอง และชุดป้องกัน
16	ของเสียประเภทต่างๆ ที่ไม่ได้ระบุในรหัสอื่น
17	ของเสียจากงานก่อสร้างและการรื้อทำลายสิ่งก่อสร้าง(รวมถึงดินที่ขุดจากพื้นที่ปนเปื้อน)
18	ของเสียจากการสาธารณสุขสำหรับมนุษย์และสัตว์รวมถึงการวิจัยทางตันสาธารณสุข
19	ของเสียจากโรงปรับคุณภาพของเสีย โรงบำบัดน้ำเสีย โรงผลิตน้ำประปา และ โรงผลิตน้ำใช้อุตสาหกรรม

หมายเหตุ. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548

2.4 เส้นใยธรรมชาติ

องค์ประกอบหลักทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ ประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมี 4 ส่วน คือ เซลลูโลส มีปริมาณร้อยละ 40-50 เฮมิเซลลูโลส มีปริมาณร้อยละ 20-35 ลิกนิน มีปริมาณร้อยละ 15-35 และสารแทรก มีปริมาณร้อยละ 3-10 โดยที่สารหลัก 3 ตัวแรกจะอยู่ในผนังเซลล์ที่อัตราส่วน 43:2 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ สายพันธุ์ และส่วนประกอบของพืช เช่น ราก ลำต้น ใบ และพื้นที่ที่ทำการปลูก ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะส่งผลทำให้คุณสมบัติและศักยภาพของเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดแตกต่างกัน และเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกเส้นใยธรรมชาติเพื่อการผลิตซีเมนต์เส้นใย (เพ็ญศรี อติวรรณพัฒน์, 2540)

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติมีคุณลักษณะ ดังนี้

1. เซลลูโลส เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จากผนังเซลล์ของเส้นใยแบบโมเลกุลต่อเนื่องมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก เรียกว่าไมโครไฟเบอร์ (Micro Fiber) ที่เกิดจากการควบแน่นของอนุกรม (Polymerization) ของหน่วยพื้นฐานในน้ำตาลกลูโคส เซลลูโลสจะมีความเหนียว น้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นสารที่มีความเป็นผลึก เป็นองค์ประกอบของไม้ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้สำหรับต้มเยื่อไม้ และไม่ถูกออกซิไดซ์โดยสารเคมีที่ใช้ฟอกเยื่อไม้ ทำให้ในการต้มหรือการใช้สารเคมีต่างๆ ไม่สามารถทำลายคุณสมบัติหรือลดปริมาณของเซลลูโลสในเส้นใยพืชได้

2. เฮมิเซลลูโลส เป็นสารโมเลกุลของโพลีซัคคาไรด์ คือ มีน้ำตาลหลายชนิดรวมกัน พบมากในไม้เนื้อแข็งไม้เนื้ออ่อนและพืชตระกูลหญ้า มีน้ำหนักของโมเลกุลต่ำ ส่วนใหญ่เป็นสารประเภทไซแลน (Xylans) และกลูโคแมนแนน (Glucmannans) ลักษณะทางเคมีจะเป็นกิ่งก้านสาขาที่มีโมเลกุลข้างเคียงเป็นโมเลกุลที่แตกต่งจากโมเลกุลยาวเดิม เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างซับซ้อนและเป็นผลึกมากกว่าเซลลูโลส โดยทั่วไปไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในต่างและจะถูกย่อยสลายด้วยกรดง่ายกว่าเซลลูโลส

3. ลิกนิน เป็นสารโพลีอะโรมาติกที่สลับซับซ้อนแบบ 3 มิติ ชนิดหนึ่งที่มีอยู่ระหว่างผนังเซลล์ชั้นนอกของเส้นใย ทำหน้าที่คล้ายกาวเป็นส่วนเชื่อมเส้นใยเข้าด้วยกันทำให้โครงสร้างหลักมีความแข็งแรง เป็นพวกสารโมเลกุลฟีนิลโพรเพน (Essentially Substituted Phenyl Propane Three-dimensional Polymer) ยึดเกาะกันด้วยอีเทอร์และคาร์บอน มีลักษณะรูปร่างที่ไม่เป็นผลึกมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงและสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนหรือสารเคมี

เส้นใยธรรมชาติ ที่มีความสำคัญและมีการใช้งานกว้างขวางมากที่สุด โดยใยฝ้ายมีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส 87-90% และสารอื่น ๆ เช่น ไขมันและความชื้น เซลลูโลสของฝ้าย เป็นโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคสในสายโซ่พอลิเมอร์ถึง 900-1000 หน่วย ซึ่งส่วนประกอบ ทางเคมีต่าง ๆ ของฝ้ายนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพดิน อากาศพันธุ์ฝ้าย และอื่น ๆ ในระหว่างที่ฝ้าย เจริญเติบโต

2.5 คอนกรีตผสมเส้นใย

คอนกรีตถึงแม้จะมีกำลังการรับแรงอัดที่ดีแต่ก็จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความเปราะ (Brittle Material) มีคุณสมบัติในด้านการรับแรงดึงที่ต่ำโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 ของกำลังรับแรงอัด การที่จะทำให้คอนกรีตมีความเหนียว (Ductility) นั้นจำเป็นต้องใส่วัสดุเสริมกำลังเข้าไปในเนื้อคอนกรีต เส้นใยถือว่าเป็นวัสดุที่นิยมนำมาผสมลงในคอนกรีตเพื่อเสริมคุณสมบัติดังกล่าว่าเป็นที่รู้จักกันในชื่อคอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์ FRC (Fiber Reinforced Concrete) ซึ่งคอนกรีต

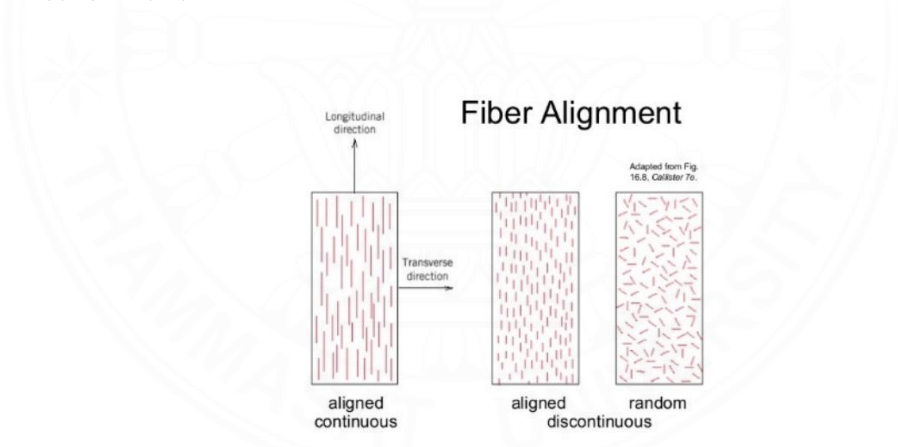
โดยทั่วไปที่มีการเติมเส้นใยที่มีลักษณะกระจายตัวออกจากกันแบบไม่ต่อเนื่องกัน (Discontinuous Discrete Fiber) เข้าไประหว่างการผสมทั้งเส้นใยไฟเบอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ใยหิน ฟางข้าว ป่าน ปอ เป็นต้น หรือเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์เช่น เส้นใยเหล็ก เส้นใยเซรามิก เส้นใยคาร์บอน เส้นใยไพลอน และเส้นใยโพลีโพรพิลีน เป็นต้น

2.5.1 โครงสร้างของคอนกรีตผสมเส้นใย

โครงสร้างของคอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ Matrix ได้แก่ มอร์ตาร์ และ Reinforcement ได้แก่ เส้นใยสำหรับคอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete; FRC) จัดเป็นวัสดุผสมเส้นใยชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Fibrous Composite Material) คือเส้นใยที่ผสมลงไปจะมีการกระจายตัวไปในทิศทางที่ไม่แน่นอนอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีต

ภาพที่ 2.3

ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใย



หมายเหตุ. Composite materials, 2561.

หลักการทำงานของเส้นใย หน้าที่หลักของไฟเบอร์ขนาดเล็กที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตคือการทำหน้าที่ยึดรั้งรอยแตกกว้างให้การเปิดหรือการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของรอยร้าวเป็นไปได้อย่างช้าและยากขึ้น โดยเมื่อคอนกรีตได้รับแรงกระทำจนกระทั่งเกิดการแตกกว้าง ถ้าเป็นคอนกรีตธรรมดาที่ไม่มีส่วนผสมของไฟเบอร์ด้วยการเป็นวัสดุเปราะการแตกกว้างนี้จะนำไปสู่การวิบัติในระยะเวลาอันรวดเร็วในกรณีที่มีการผสมเส้นใยทันทีที่คอนกรีตแตกกว้าง เส้นใยเล็กจำนวนมากก็จะเริ่มทำหน้าที่ยึดรั้งรอยร้าวนี้ไม่ให้ขยายตัวออกได้ง่ายหรือในบางกรณีอาจจะทำให้รอยร้าวนั้น

หยุดลง (Crack Arrest) นำไปสู่การเกิดของรอยร้าวใหม่ (Crack Branching) ซึ่งการทำให้เกิดรอยร้าวใหม่จำเป็นต้องมีการใส่พลังงานหรือแรงกระทำเพิ่มเข้าไปในวัสดุ ดังนั้น ถ้าพิจารณาการวิบัติของคอนกรีตผสมเส้นใยเทียบกับคอนกรีตธรรมดาจะพบว่าจำนวนรอยร้าวของคอนกรีตผสมเส้นใยจะมีมากกว่าคอนกรีตธรรมดา จำนวนรอยร้าวที่มากแสดงให้เห็นถึงระดับพลังงานหรือแรงกระทำที่มากกว่าที่ใช้ในการทำให้คอนกรีตเสริมเส้นใยเกิดการวิบัติเกิดรอยร้าวใหม่

2.5.2 สมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใย

1) ความสามารถในการเทได้ (Workability) การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตมีผลทำให้ความสามารถในการเทคอนกรีตลดลงตามปริมาณการใส่ที่สูงขึ้น การศึกษาเปรียบเทียบคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กพบว่า การใส่เส้นใยเหล็กลงในคอนกรีตมีผลทำให้ค่าการยุบตัวลดลง

2) กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) โดยทั่วไปการผสมเส้นใยลงในคอนกรีต ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดโดยตรง แต่อาจมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย สำหรับเส้นใยเหล็กอาจทำให้กำลังอัดสูงขึ้นได้ประมาณ ร้อยละ 10-25 แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะมีผลทำให้กำลังอัดลดลงเนื่องจากปริมาณเส้นใยที่มากมีผลทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ต่ำ การอัดแน่นจึงทำได้ยาก

3) กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงดึงดีขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากตัวเส้นใยมีความเหนียวและรับแรงดึงได้ดีกว่าคอนกรีตในสถานะที่แรงดึงกระทำกับคอนกรีตเกิดการแตกร้าว หน้าที่ของเส้นใยไฟเบอร์คือยับยั้งการขยายตัวของรอยแตก สำหรับการผสมเส้นใยลงในคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเรียงตัวของเส้นใยมีผลมากกับกำลังรับแรงดึง หากเส้นใยเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการรับแรงดึงอาจสูงถึงร้อยละ 133 สำหรับการผสมเส้นใยชนิดตรงในปริมาณร้อยละ 5

4) กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตจะมีผลทำให้กำลังรับแรงดัดสูงขึ้นมากกว่าของค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึง ทั้งนี้พบว่าค่ากำลังดัดเพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 30-100 ขึ้นกับปริมาณเส้นใยและค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (Aspect Ratio) จะทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงขึ้น ซึ่งความสามารถในการรับแรงดึงและแรงดัดจะดีขึ้นมากเท่าใดขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ เช่น การเรียงตัวของเส้นใย แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใย กำลังของซีเมนต์เพสต์ รวมทั้งชนิดของเส้นใย รูปร่างของเส้นใยและปริมาณเส้นใยที่ใช้ในการผสม เป็นต้น

ตารางที่ 2.3

วัสดุผสมซีเมนต์ ส่วนผสมของพลาสติกและเส้นใยต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์

วัสดุผสมซีเมนต์	พลาสติกแทนที่ ทรายโดย น้ำหนักของ ทราย	เส้นใยผสมเพิ่ม โดยน้ำหนักของ ปูนซีเมนต์	สมบัติ		
			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม)	กำลังรับแรงดัด (กก./ตร.ซม)	ค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (W/m.K)
วัสดุซีเมนต์ผสมไนลอน ¹	-	1-1.5 %	326.31 - 418.08	-	-
วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยฝ้าย ²	-	0.2-5 %	265.13 - 346.7	-	0.302
วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยฝ้ายและ แก้วลอย ³	-	20%	91.77 - 148.88	24.4-29.8	0.23-0.26
วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใย กาบมะพร้าว ⁴	-	5-20%	42.93 - 50.98	76.5-106	-
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ⁵	3.6% 7.2% 10.8%	-	205.98 - 442.56	82.5-114.2	1.8 - 2.3
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ⁶	25% 30% 40% 50%	-	96.8 - 257.9	-	0.392 - 0.611

หมายเหตุ. จาก 1. S. Spadea, 2557.

2. N. Abidi, 2561.

3. H. Binici, 2558.

4. กนกวรรณ มะสุวรรณ, 2556.

5. ณรงค์ฤทธิ์ พิพัฒน์กิติราช, 2556.

6. S. Akçaözog˘lu et al, 2560.

จากตารางที่ 2.3 การใช้พลาสติกในการเป็นวัสดุผสมซีเมนต์จะมีร้อยละของส่วนผสม 3.6-50 โดยน้ำหนักของทรายและเส้นใยจะมีสัดส่วนผสมอยู่ที่ร้อยละ 0.2-20 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

พลาสติกนิยมใช้เป็นวัสดุมวลรวมทดแทนปริมาตรทราย การเพิ่มปริมาณพลาสติกในสัดส่วนผสมของวัสดุ ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความพรุนและความสามารถในการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้นและความหนาแน่นมีค่าลดลง และสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัด มีค่าต่ำลง สมบัติทางความร้อน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความต้านทานความร้อนแสดงถึงการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้น (ณรงค์ฤทธิ์ พิพัฒน์กิติราช, 2556)

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET จาก 2 งานวิจัย จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนร้อยละ 10.8 และ 25 มีค่าต่างกันประมาณ 50 กก./ตร.ซม และ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่างกันอยู่ 1.3 W/m.K

ตารางที่ 2.4

กำลังรับแรงอัดและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET

อัตราส่วนพลาสติก PET โดยน้ำหนักของทราย	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน W/m.K
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ร้อยละ 3.6 ¹	266.65	2.323
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ร้อยละ 7.2 ¹	247.53	1.881
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ร้อยละ 10.8 ¹	207.50	1.946
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ร้อยละ 25 ²	257.90	0.611
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ร้อยละ 30 ²	200.88	0.572
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ร้อยละ 40 ²	169.27	0.534
วัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET ร้อยละ 50 ²	96.80	0.392

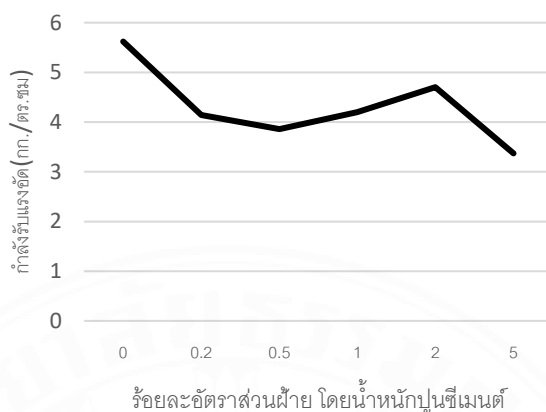
หมายเหตุ. จาก 1. ณรงค์ฤทธิ์ พิพัฒน์กิติราช, 2556.

2. S. Akçaözog˘lu et al, 2560.

ฝ้ายที่ใช้ในการผสมวัสดุซีเมนต์จากงานวิจัยตัวอย่างจะทำการทดสอบเบื้องต้นเกี่ยวกับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมฝ้ายร้อยละ 2 5 และ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ พบว่ามอร์ตาร์ที่อัตราส่วนฝ้ายร้อยละ 2 มีกำลังรับแรงอัดในช่วงแรกเพิ่มขึ้นจากมอร์ตาร์ที่ควบคุมเล็กน้อย หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบโดยใช้มอร์ตาร์ที่ผสมฝ้ายร้อยละ 0.2 0.5 1 2 และ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ พบว่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงในส่วนผสมร้อยละ 0.2 และต่ำสุดที่ร้อยละ 0.5 แล้วกำลังรับแรงอัดจึงเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 2 แล้วกำลังรับแรงอัดจึงลงอีกครั้ง ดังภาพที่ 2.3 ฝ้ายที่ใช้ผสมมีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร การผสมเส้นใยความยาวมากกว่า 1 นิ้วขณะผสมเส้นใยจะรวมตัวกันตรงกลาง เพื่อแก้ปัญหาที่เส้นใยเป็นเกลียวความยาว 1 นิ้วเพื่อไม่ให้ฝ้ายเกิดการรวมตัวกันภายหลัง (N. Abidi, 2561)

ภาพที่ 2.4

แผนภูมิแสดงกำลังรับแรงอัดต่อร้อยละอัตราส่วนของฝ้าย



หมายเหตุ. จาก N. Abidi, 2561

ตารางที่ 2.5

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความจุความร้อนของวัสดุรีไซเคิล

วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน W/m. k	ความจุความร้อน kJ/kg.K
ฝ้ายรีไซเคิล	0.039-0.044	1.6
ฝ้าย (ฝ้ายอินทรีย์รีไซเคิล)	0.036-0.038	-
แก้วรีไซเคิล	0.031	0.83
พลาสติก PET รีไซเคิล	0.0355	-
สิ่งทอรีไซเคิล (textile)	0.0358-0.042	1.2-1.6
สิ่งทอและกระดาษรีไซเคิล	0.034-0.039	-

หมายเหตุ. จาก F. Asdrubali, 2558.

สำหรับงานวิจัยนี้พลาสติก PET ทำหน้าที่แทนที่ปริมาตรทราย และเศษฝ้ายทำหน้าที่ในการเป็นฉนวนความร้อน การนำพลาสติก PET มาใช้ในวัสดุสถาปัตยกรรมเป็นแนวทางทำให้ลดปริมาณของพลาสติก PET ที่ไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลและการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเส้นใยฝ้ายที่เหลือจากอุตสาหกรรม โดยเป็นการเพิ่มคุณสมบัติให้กับวัสดุซีเมนต์ในสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อน

2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

2.6.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

ความร้อนสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 รูปแบบ คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี พฤติกรรมทางความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ตามหลักเทอร์โมไดนามิก สำหรับกรอบอาคารนั้นจะมีการส่งผ่านโดยรวมแยกเป็นส่วนผนังและส่วนหลังคาซึ่งเกิดรูเคลื่อนที่ของความร้อนทั้งสามแบบขึ้นกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

2.6.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนโดยมีของแข็งเป็นตัวกลาง โดยอัตราการนำความร้อน ขึ้นอยู่กับ

1) ความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยมีการเคลื่อนที่จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และถ้าอุณหภูมิมีความแตกต่างกันมากระหว่างสองด้านของตัวกลางการนำความร้อนจะเป็นไปได้ดีมากขึ้นตามทฤษฎี

2) ความหนาแน่นของวัสดุ ความหนาแน่นมากอนุภาคของโมเลกุลใกล้กันมากสามารถส่งผ่านความร้อนได้ดี ความหนาแน่นต่ำอนุภาคของโมเลกุลมีความห่างการส่งผ่านความร้อนต่ำกว่า

2.6.1.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนโดยมีของไหลเป็นตัวกลาง โดยอัตราการพาความร้อน ขึ้นอยู่กับ

- 1) ความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่พื้นผิวทั้งสองด้านของตัวกลาง
- 2) ความเร็วของการไหลของตัวกลาง
- 3) ชนิดของของไหล
- 4) พื้นที่ผิวสัมผัสของของไหล

2.6.1.3 การแผ่รังสี (Radiation)

การแผ่รังสี คือ การถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอัตราในการแผ่รังสีความร้อน ขึ้นอยู่กับ

- 1) ความแตกต่างของอุณหภูมิ
- 2) ปริมาณอุณหภูมิที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดความร้อน
- 3) ความสามารถในการสะท้อนของวัสดุ

4) ความสามารถในการดูดซับรังสีของวัสดุ

2.6.2 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนโดยทั่วไปหมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่ง ไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุใด ๆ หรือการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ระหว่างวัสดุสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัสดุทั้งสองมีความแตกต่างกัน

2.6.2.1 ประเภทฉนวนความร้อน

การจำแนกประเภทของฉนวนกันความร้อนหรือ ฉนวนป้องกันความร้อนมีหลายวิธีแล้วแต่จะยึดถือสมบัติด้านใดของวัสดุมาจำแนก เช่นการจำแนกฉนวนกันความร้อนตามโครงสร้างและหลักการทำ งานสามารถแบ่งออกเป็นจำแนกตามโครงสร้าง และหลักการทำงาน 6 ประเภทดังนี้

1) ฉนวนป้องกันความร้อนชั้นอากาศ (Air) เป็นฉนวนที่ประกอบเป็นพื้นผิวเดียวหรือพื้นผิวหลายชั้นซึ่งมีอากาศอยู่ ระหว่างชั้นของพื้นผิว ความต้านทานความร้อนจะเกิดจากชั้นของอากาศในลักษณะนำ ความร้อนหรือพาความร้อนคร่อมระหว่างชั้นอากาศ

2) ฉนวนป้องกันความร้อนแบบเซลล์ (Cellular Material) เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยเซลล์เล็ก ๆ ที่ผนึกติดกับเซลล์อื่น ๆ ฉนวนแบบเซลล์ผลิตขึ้นจากแก้ว พลาสติก และยาง ตัวอย่างของฉนวนชนิดนี้ เช่น เซลลูลาร์กลาส (Cellular Gas) ยางอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) แบบขยายตัว โฟมโพลีสไตรีน โฟมโพลีไอโซไซยานูเรต โฟมโพลียูรีเทน โฟมโพลีเอทิลีน และโฟมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

3) ฉนวนป้องกันความร้อนแบบเส้นใย (Fibrous Material) เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ๆ จำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้อาจนำมาจากวัสดุอินทรีย์ เช่น เส้นผม ใยพืชต่าง ๆ หรืออาจทำ จากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยหิน ใยซิลิเกต ใยอลูมินาซิลิกา แอสเบสตอส (Asbestos) ใยคาร์บอน

4) ฉนวนป้องกันความร้อนแบบเกล็ด (Foliated Material) เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก อนุภาคหรือเกล็ดเหล่านี้อาจถูกเทเข้าไปในช่องอากาศ หรือทำให้เกาะตัวเข้าด้วยกัน เพื่อทำเป็นรูปทรงฉนวนที่แข็ง สามารถใช้งานเป็นฉนวนท่อ หรือใช้งานด้านอื่นๆ ในลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด ฉนวนแบบเกล็ดที่รู้จักกันทั่วไปคือ เพอร์ไลต์และเวอร์มิคูไลท์

5) ฉนวนป้องกันความร้อนแบบกรานูลาร์ (Granular Material) เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโพรงหรือกลวง ซึ่งช่องกลวงเหล่านี้สามารถถ่ายเท

อากาศระหว่างกันและกันได้จึงทำให้แตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียมซิลิเกต ดินไดอะตอมเซียส (Diatomaceous Earth) ไม้คอร์ก (Vegetable cork) วัสดุ 3 ชนิดแรก ส่วนใหญ่จะใช้ฉนวนในระบบท่อทางด้านอุตสาหกรรม ส่วนไม้คอร์กจะใช้งานกับการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ

6) ฉนวนป้องกันความร้อนแผ่นบาง ผิวสะท้อนรังสี (reflective foils) เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยแผ่นบางๆ ที่มีสภาพการสะท้อนรังสีความร้อนสูงหรือสภาพการแผ่รังสีต่ำ โดยแผ่นบางเหล่านี้ช่วยสะท้อนรังสีความร้อนกลับ เนื่องจากผลของการนำความร้อนและการพาความร้อนลดลง การประยุกต์ใช้ฉนวนแผ่นบางส่วนใหญ่จะใช้เป็นระบบมากกว่าใช้วัสดุความร้อนลดลง การประยุกต์ใช้ฉนวนแผ่นบางส่วนใหญ่จะใช้เป็นระบบมากกว่าใช้วัสดุชนิดเดียว โดยใช้งานกับวัตถุที่อุณหภูมิสูงเมื่อการถ่ายเทความร้อนชนิดแผ่รังสีความร้อน มีปริมาณมากกว่าการถ่ายเทความร้อนอีก 2 แบบคือ การนำ และการพา 2 ประเภท หรืออาจมากกว่า 2 ประเภท เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการ เช่น นำวัสดุประเภทเส้นใยมารวมกับวัสดุประเภทกรานูลาร์จะช่วยเพิ่มความทนของแรงดึง ของผลผลิตที่ได้

2.6.2.2 สมบัติความเป็นฉนวน

ความเป็นฉนวนนั้น สามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติตามทฤษฎี

3 ข้อ ดังนี้

1) ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ค่าความต้านทานความร้อน (R) บอกถึงอัตราส่วนความหนาของวัสดุที่ความร้อนถ่ายเทผ่านกับค่าการนำความร้อน ดังนั้นถ้าวัสดุใดมีค่าความต้านทานความร้อนสูง แสดงว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติการป้องกันความร้อนได้ดีตามไปด้วย

2) ความสามารถในการนำความร้อน (Thermal Conductance) ค่าการนำความร้อน (C) บอกความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ จะแสดงเป็นอัตราปริมาณความร้อนส่งผ่านต่อหน่วยเวลาของวัสดุที่มีอุณหภูมิตั้งกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ณ จุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่างกันไปวัสดุฉนวนที่ดี ควรมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำค่าต้านทานความร้อน และค่าการนำความร้อนมีความสัมพันธ์แบบผกผันต่อกันตามสมการ ดังนี้

$$R = 1/C = \Delta X/k$$

เมื่อ	R	คือค่าต้านทานความร้อน (ตร.เมตร เควินวัตต์)
	C	คือค่าการนำความร้อน (วัตต์ ตร.เมตร เควิน หรือ จูล/ กิโลกรัม เควิน)
	ΔX	คือ ความหนาวัสดุ (เมตร)
	k	คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์ ตร.เมตร เควิน)

3) ความจุความร้อน (Thermal Capacity) ค่านี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ กล่าวคือ ความจุความร้อนของวัสดุเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้วัสดุมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส.จูล/กิโลกรัม.เคลวิน วัสดุแต่ละชนิดจะมีความจุความร้อนต่างกันไป โดยทั่วไปความหนาแน่นจะมีผลต่อความจุความร้อน ถ้ายิ่งหนาแน่นมาก ความจุความร้อนก็มากตามเช่นกัน

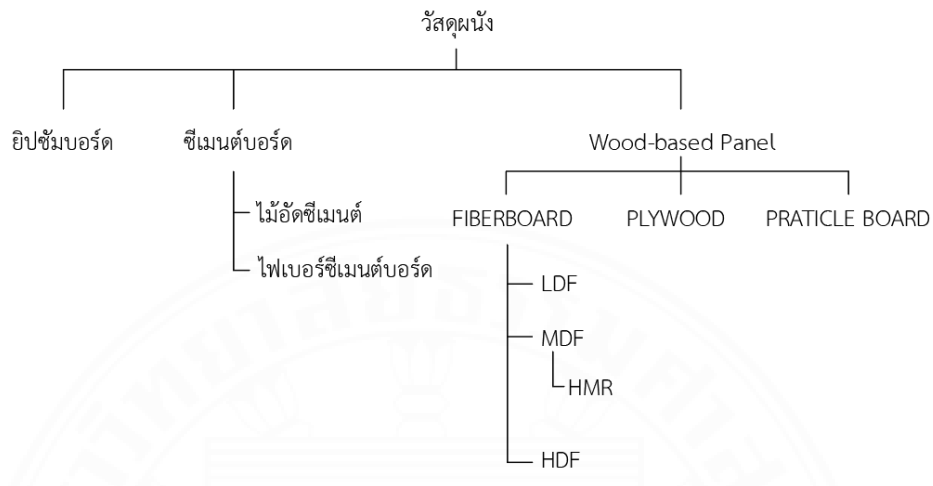
4) ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Thermal Capacity) หน่วยที่บอกถึงความสามารถของวัตถุในการดูดซับความร้อน เป็นปริมาณของพลังงาน (MJ) ความร้อนที่ทำให้วัตถุมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งองศาเคลวิน เพราะฉะนั้นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับอาคารนั้น ควรมีความต้านทานความร้อนสูง ค่าการนำความร้อนต่ำ และมีความจุความร้อนกับความหนาแน่นของมวลที่มีค่าต่ำ เพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่จะทำให้การใช้พลังงานของอาคารนั้นสูงมากขึ้น

2.7 วัสดุผนังซีเมนต์บอร์ดในงานสถาปัตยกรรม

ปัจจุบันวัสดุผนังที่ใช้ในงานสถาปัตยกรรมมีการพัฒนาโดยการนำเศษไม้หรือเส้นใยจากไม้ในอุตสาหกรรมกระดาษมาช่วยในการลดขยะที่เหลือจากเศษไม้ต่างๆ โดยการนำมาใช้ผสมเป็นซีเมนต์บอร์ดและใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ (Wood-based Panel) สำหรับใช้ทำเฟอร์นิเจอร์บิวท์อิน (Built In) โดยวัสดุผนังจะสามารถจำแนกตามสารยึดเกาะ(Binder)ได้ดังนี้

ภาพที่ 2.5


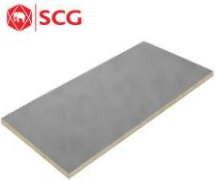
ประเภทของวัสดุผนัง



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ตารางที่ 2.6

ส่วนประกอบ สมบัติ และข้อดีของวัสดุผนังเบา

วัสดุผนัง	ส่วนประกอบ	สมบัติ	ข้อดี
ไม้อัดซีเมนต์	ไม้ยูคาลิปตัสหรือไม้ยาง ผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ยึดหยุ่นเหมือนไม้ แข็งแรง เหมือนซีเมนต์ ทนฝน ไม่บวม ไม่ผุ เปื้อน ปลวกไม่กิน ไม่เป็นเชื้อรา	ความหนาอย่างมากยิ่งน้ำหนักมาก ในกรณี ที่ใช้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูงมากๆ เช่น ผนังชั้นล่าง หรือผนังที่สัมผัสดินหรือน้ำ ต้องทาเคลือบป้องกันความชื้นก่อน ป้องกันสีลอก่อน
วัสดุในท้องตลาด	ความหนา (เซนติเมตร)	ขนาด (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
 วีว่า บอร์ด	0.8 - 2.4	120 x 240	30 - 90
 ไม้อัดซีเมนต์บอร์ด SCG	0.8 - 2.4	120 x 240	32 - 97

ตารางที่ 2.6

ส่วนประกอบ สมบัติ และข้อดีของวัสดุผนังเบา (ต่อ)

วัสดุผนัง	ส่วนประกอบ	สมบัติ	ข้อดี
ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด	เส้นใยเซลลูโลสผสมซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์และทรายซิลิกา	ตัดโค้งได้ ทนแดด ทนฝน ผิวด้านหนึ่งเรียบเนียน สามารถทำผนังโชว์ผิวได้	ฉาบรอยต่อระหว่างแผ่นให้ เนียนยาก จะเจาะ ตัด ซ่อมแซมก็ยากกว่า ผนังหน้า ต้องมีการปิดผิวเพื่อความ สวยงาม ในกรณีที่ใช้ในพื้นที่ที่มีความชื้น สูงมากๆ เช่น ผนังชั้นล่าง หรือผนังที่สัมผัสดินหรือน้ำ ต้องทาเคลือบป้องกันความชื้น ก่อน ป้องกันสีลอกร่อน
วัสดุในท้องตลาด	ความหนา (เซนติเมตร)	ขนาด (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
 SHERA ฅฅร่าบอรัต	0.8 – 1.2	120 x 240	36 - 55.62
 SCG สมารัท บอรัต	0.8 – 1.2	120 x 240	34.8 - 52.2
 ทีพีไอ บอรัต	0.8 – 1.2	120 x 240	34.4 - 51.7

หมายเหตุ. วีว่า บอร์ด, 2562.

ไม้อัดซีเมนต์บอร์ด SCG, 2562.

เมอราบอร์ด, 2562.

สมาร์ท บอร์ด, 2562.

ทีพีไอ บอร์ด, 2562.

2.8 สมบัติทางกายภาพ และเชิงกลเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์บอร์ด

ซีเมนต์บอร์ด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการก่อสร้างซึ่งมีน้ำหนักเบา นิยมนำมาใช้เป็นผนังเบา (Light Weight Wall) การผลิตโดยทั่วไปจะนำเศษซีลี้อยมาอัดแล้วนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และสารเคมีที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบอัดแรงกดขนาดใหญ่ กัดจนซีเมนต์แข็งตัวแล้วทำการลดความชื้นด้วยการอบ ขนาดที่พบทั่วไปตามท้องตลาดจะอยู่ที่ 1.2 เมตร x 24 เมตร ความหนา มีหลากหลายขนาดตั้งแต่ 8 - 24 มิลลิเมตรซึ่งจะแบ่งตามการใช้งาน

2.8.1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์บอร์ด

ซีเมนต์บอร์ดเป็นการรวมวัสดุหลักสองชนิดเข้าด้วยกันคือ ซีเมนต์เพสและไม้ เนื่องจากซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อสภาพอากาศภายนอกได้ดีจากการศึกษาซีเมนต์ในเบื้องต้นที่กล่าวมารวมทั้งความหนาแน่นที่ทำให้ซีเมนต์สามารถนำ และเก็บความร้อนได้ดี แต่สำหรับไม้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ และมีความยืดหยุ่นสูง การแทนที่ซีเมนต์ด้วยไม้ในซีเมนต์บอร์ดนั้นทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของวัสดุนั้นต่ำลง ส่งผลให้ความสามารถในการนำความร้อนของซีเมนต์บอร์ดนั้นมีค่าลดลงเช่นกัน

ตารางที่ 2.7

ข้อมูลทางเทคนิคผลิตภัณฑ์ซีเมนต์บอร์ด

ข้อกำหนด	ผลิตภัณฑ์สมาร์ทบอร์ด	ผลิตภัณฑ์วีว่าบอร์ด	มาตรฐานการทดสอบ
ความต้านทานแรงดัดโค้ง	17.5 นิวตัน/ตร.มม.	≥9 นิวตัน/ตร.มม.	-
ความหนาแน่น	1260 กก/ลบ.ม.	1200-1300	ASTM C 1185
โมดูลัสยืดหยุ่น	4500 นิวตัน/ตร.มม.	>3000 นิวตัน/ตร.มม.	ASTM C 1185
ปริมาณความชื้นในแผ่น	14 %	9-15 %	ASTM C 1185
ความเป็นด่างของผิวหน้า	pH 7	pH 12	-
ค่าการนำความร้อน (k)	0.25 W/m°C	0.1 W/m°C	ASTM C 117
ค่าการทนไฟ	เป็นฉนวนไม่ติดไฟ	เป็นฉนวนไม่ติดไฟ	BS 476
การขยายตัวเมื่อแช่น้ำ	<0.12 %	<2%	JIS A 5420
ค่าการกั้นเสียง (STC)	38 dB	28-32 dB	BS 2750

หมายเหตุ. VIVA board, 2562.

Smart board, 2562.

ตารางที่ 2.8

ความหนาของวัสดุผนังและการนำไปใช้งาน

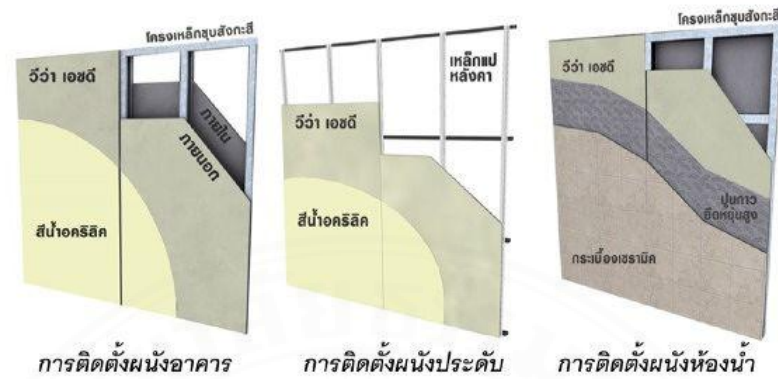
ความหนา (มม.)	การนำไปใช้งาน	
	ผลิตภัณฑ์สมาร์ทบอร์ด	ผลิตภัณฑ์วีว่าบอร์ด
3.5-6.0	ฝ้าเพดาน	-
8.0	ผนังภายในอาคาร	กรุผนังภายนอก ฝ้าเพดาน
10.0	ผนังภายในอาคาร	ฝ้าเพดาน แผ่นรองพื้น แผ่นตกแต่ง
12.0	ผนังภายในอาคาร	กรุผนังภายนอก
16.0	ผนังภายในและภายนอกอาคาร	แผ่นรองใต้หลังคา
18.0	ผนังภายในและภายนอกอาคาร	-

หมายเหตุ. VIVA board, 2567.

Smart board, 2567.

ภาพที่ 2.6

โครงสร้างผนังซีเมนต์บอร์ด



หมายเหตุ. Viva board, 2562.

ผนังซีเมนต์บอร์ดนั้นเป็นที่นิยมสำหรับอาคารที่ต้องการใช้ความรวดเร็วในการก่อสร้างหรืออาคารที่ไม่ได้ตั้งอยู่ถาวร โดยที่ซีเมนต์บอร์ดมีความแข็งแรงเทียบเท่าผนังก่อสร้าง โดยทั่วไปจึงนิยมนำมาใช้ในการก่อสร้าง โครงสร้างของผนังซีเมนต์บอร์ดจะทำการติดผนังกับโครงคร่าวเหล็กหรือไม้ สามารถใช้ได้ทั้งภายนอก และภายในอาคารด้วยสมบัติที่เทียบเท่ากับผนังก่อสร้างทั่วไป และระยะเวลาในการก่อสร้างที่เร็วจึงมีแนวโน้มการใช้ในอาคารมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณที่ใช้การศึกษาเชิงทดลองและเปรียบเทียบ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร บทความงานวิจัย หนังสือ และข้อมูลจากสื่ออินเทอร์เน็ต ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทดลองพัฒนาสมบัติของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ผสมพลาสติกและเส้นใยเพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาวัสดุประเภทมอร์ตาร์ แล้วหาสัดส่วนผสมพลาสติก PET และเส้นใยที่เหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นซีเมนต์บอร์ดตัวอย่างที่ใช้เป็นผนังในอาคาร นำมาศึกษาและทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางด้านความร้อนของมอร์ตาร์ และทดสอบแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมพลาสติกและเศษใย ทั้งในการทดสอบความหนาแน่น กำลังอัด กำลังต้านทานแรงดัด เป็นต้น นอกจากนี้การพัฒนาสมบัติทางความร้อนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นเพื่อที่จะสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ลดภาระการทำความเย็นการใช้พลังงานทางด้านการปรับอากาศ

3.1 การกำหนดตัวแปร

มอร์ตาร์ผสมพลาสติก PET และเศษใย

ตัวแปรต้น ได้แก่ พลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษใยที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) กำลังอัด (Compressive Strength) โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Thermal Conductivity)

ตัวแปรควบคุม ได้แก่

1. ขนาดของเศษพลาสติก PET 0.5 x 0.5 เซนติเมตร
2. ความยาวของเส้นใย 0.5 เซนติเมตร
3. ส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนเท่ากับ 0.5 ในทุกกรณี อัตราส่วนน้ำยาผสมเพิ่มต่อปูนเป็น 0.003 ทุกกรณี สัดส่วนซีเมนต์ต่อทรายเป็น 1:2.75 ทุกกรณี ซึ่งเป็นทรายตากแห้งที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรงเบอร์ 4 และเบอร์ 8 ความหนาแน่นรวม (Solid Density) เท่ากับ 2.6 กรัม/ลบ.ซม.
4. ขั้นตอนในการผสม โดยเริ่มผสมปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยาผสมเพิ่มจนกลายเป็นซีเมนต์เพสต์แล้วผสมด้วยวัสดุผสมรวมจนเป็นมอร์ตาร์ จึงผสมพลาสติก PET และเส้นใย

5. ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 การเตรียมฝ้ายเพื่อใช้ในการผสม

1. การทำความสะอาดฝ้าย: นำเศษฝ้ายมาทำความสะอาด โดยจัดสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ออก เช่น เปลือกฝ้าย เส้นใยที่ไม่ได้คุณภาพ หรือฝุ่นผง

2. การตัดฝ้าย: นำฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 5x5 มิลลิเมตร เพื่อให้เหมาะสมกับการกระจายตัวในวัสดุผสม

3. การเตรียมฝ้ายให้อิมมัตด้วยน้ำ: นำฝ้ายที่ผ่านการตัดแล้วมาแช่น้ำจนกระทั่งฝ้ายอิมมัตด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์ วัตถุประสงค์ของการเตรียมฝ้ายในลักษณะนี้คือ เพื่อป้องกันไม่ให้ฝ้ายดูดซึมน้ำจากส่วนผสมซีเมนต์ในระหว่างกระบวนการผสม ซึ่งจะช่วยควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมและรักษาสสมบัติของวัสดุซีเมนต์ให้คงที่

ภาพที่ 3.1

การเตรียมฝ้าย



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

3.3 ทดสอบการดูดซึมน้ำของฝ้าย

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการดูดซึมน้ำของตัวอย่างฝ้าย ที่ผ่านการตัดแล้ว โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. การแช่น้ำฝ้าย: นำตัวอย่างฝ้ายที่ผ่านการตัดแล้วไปแช่ในน้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยให้มั่นใจว่าฝ้ายจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมด
2. การชั่งน้ำหนักครั้งที่หนึ่ง (น้ำหนักเปียก): เมื่อครบกำหนดเวลา 24 ชั่วโมง ให้นำตัวอย่างฝ้ายออกจากน้ำและทำการบีบน้ำส่วนเกินออก หลังจากนั้นให้ชั่งน้ำหนักของฝ้ายทันทีและบันทึกค่าน้ำหนักนี้เป็นน้ำหนักครั้งที่หนึ่ง
3. การทำให้แห้งและการชั่งน้ำหนักครั้งที่สอง (น้ำหนักแห้ง): หลังจากชั่งน้ำหนักครั้งที่หนึ่งแล้ว ให้นำตัวอย่างฝ้ายไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิคงที่ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าความชื้นระเหยไปจนหมด เมื่อครบกำหนดเวลา ให้นำตัวอย่างฝ้ายออกจากตู้อบและปล่อยให้เย็นลงในภาชนะที่ไม่มี ความชื้น ก่อนจะทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และบันทึกค่าน้ำหนักนี้เป็นน้ำหนักครั้งที่สอง

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าฝ้ายมีสมบัติการดูดซึมน้ำได้สูง โดยสามารถดูดซึมน้ำได้ประมาณ 4.4 เท่าของน้ำหนักฝ้าย ดังที่ปรากฏในภาพที่ 3.2 ดังนั้น เพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามที่ต้องการในการผสมวัสดุซีเมนต์ และเพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังอันเนื่องมาจากการใช้น้ำในปริมาณที่มากเกินไป จึงจำเป็นต้องมีการใช้น้ำยาผสมเพิ่ม (Water-reducing Admixture) ในกระบวนการผสม

ภาพที่ 3.2

ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของฝ้าย



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

3.4 การผลิตมอร์ตาร์

ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษา จากตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้เป็นมวลรวม พลาสติก และเศษฝ้ายจะมีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร พลาสติก PET จะมีอัตราส่วนผสมที่ ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ซึ่งมีขั้นตอนเตรียมมอร์ตาร์สำหรับทดสอบดังนี้

1. เตรียมเกล็ดพลาสติกที่ผ่านการร่อนคัดแยกขนาด และเส้นใยฝ้ายที่ทำให้แยกตัวออกจากกันจนไม่เป็นลักษณะก้อน ตามน้ำหนักของตัวอย่างในแต่ละสัดส่วน
2. ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยาผสมเพิ่มในเครื่องผสมโดยเทน้ำเป็นเวลา 30 วินาที แล้วกวนต่อจนกลายเป็นซีเมนต์เพสต์ด้วยเวลา 1 นาทีแล้วจึงผสมทรายลงไปเป็นเวลา 30 วินาที กวนต่อ 1 นาทีจนกลายเป็นมอร์ตาร์แล้วจึงใส่พลาสติกและเส้นใยฝ้ายไปเป็นส่วนสุดท้าย
3. เทมอร์ตาร์ที่ผสมลงในแบบหล่อที่วางอยู่บนแท่นสั่นที่เปิดอยู่ มอร์ตาร์จะไหลกระจายไปทั่วแบบแล้วจึงใช้เกรียงปาดผิวให้เรียบ
4. ควบคุมความชื้นก่อนทดสอบที่อยู่ในแบบหล่อขนาด $5.0 \times 5.0 \times 5.0$ เซนติเมตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบแล้วนำไปทดสอบเบื้องต้นด้วยการชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปบ่มน้ำเป็นเวลา 28 วันแล้วทำการทดสอบกำลังอัด

ตารางที่ 3.1

ส่วนผสมวัสดุผสมซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา

สัดส่วนผสม	น้ำหนักของส่วนผสม (กรัม)					
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	พลาสติก	ฟ้าย	น้ำยาผสมเพิ่ม
P0C0	100	275	50	0	0	0.3
P0C2	100	275	50	0	2	0.3
P0C4	100	275	50	0	4	0.3
P0C6	100	275	50	0	6	0.3
P5C0	100	275	50	5	0	0.3
P5C2	100	275	50	5	2	0.3
P5C4	100	275	50	5	4	0.3
P5C6	100	275	50	5	6	0.3
P10C0	100	275	50	10	0	0.3
P10C2	100	275	50	10	2	0.3
P10C4	100	275	50	10	4	0.3
P10C6	100	275	50	10	6	0.3
P15C0	100	275	50	15	0	0.3
P15C2	100	275	50	15	2	0.3
P15C4	100	275	50	15	4	0.3
P15C6	100	275	50	15	6	0.3

หมายเหตุ. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.5

อัตราส่วนน้ำยาผสมเพิ่มต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.003

อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 2.75

Px หมายถึง อัตราส่วนพลาสติก PET ที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วน 0.0x โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

Cy หมายถึง อัตราส่วนฟ้ายที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วน 0.0y โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ความหนาแน่นของพลาสติก PET เท่ากับ 1.38 ก./ลบ.ซม

ความหนาแน่นของฟ้าย เท่ากับ 1.54 ก./ลบ.ซม

ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ เท่ากับ 2.80 ก./ลบ.ซม.

ความหนาแน่นของทราย เท่ากับ 2.60 ก./ลบ.ซม.

3.5 การทดสอบ

3.5.1 การเตรียมเครื่องการทดสอบก้อนมอร์ตาร์และแผ่นซีเมนต์บอร์ดตัวอย่าง

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด
3. เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัด
4. Hot Disk Thermal Constant Analyzer (TCA)

3.5.2 การทดสอบก้อนมอร์ตาร์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย

3.5.2.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. ก้อนทดสอบขนาด $5.0 \times 5.0 \times 5.0$ เซนติเมตร ตัวอย่างที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย 1 ชุด สำหรับหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดหลังจากทำการบ่มเป็นเวลา 28 วัน
2. แผ่นทดสอบขนาด $25 \times 25 \times 1.2$ เซนติเมตร ตัวอย่างที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย สำหรับหาค่า ได้แก่ ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) และ โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) โดยการทดสอบแผ่นซีเมนต์เส้นใยครั้งนี้ได้กำหนดขนาดและรูปแบบตามมาตรฐาน มอก. 1427-2561

ตารางที่ 3.2

ขนาดของตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบ	ขนาดของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)	จำนวน
ทดสอบกำลังรับแรงอัด	$5.0 \times 5.0 \times 5.0$	15
ทดสอบความหนาแน่นปรากฏ ทดสอบโมดูลัสแตกร้าว	$25.0 \times 25.0 \times 1.2$	5

หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

3.5.2.2 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบ ตามมาตรฐาน มอก.1427-2561 โดยการนำแผ่นทดสอบแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบที่แช่น้ำแล้วซับน้ำส่วนเกินออกแล้วนำไปชั่งในอากาศ (m_s) แล้วนำไปชั่งในน้ำ (m_i) บันทึกค่าที่ได้ จากนั้นนำแผ่นทดสอบข้างต้นมาอบที่อุณหภูมิ $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเมื่ออบแห้ง (m_d)

ความหนาแน่นปรากฏ

$$\rho = \frac{m_d}{m_s - m_i} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

การดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์} = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

m_d คือ มวลชิ้นทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)

m_s คือ มวลชิ้นทดสอบเมื่ออิมเมอร์ชันด้วยน้ำ (กรัม)

m_i คือ มวลชิ้นทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)

3.5.2.3 การทดสอบหาค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์ โดยวางก้อนทดสอบบนแท่นเหล็กแบนกลม โดยที่ผิวสัมผัสของก้อนทดสอบกับแท่นเหล็กเสมอกัน แท่นกดด้านบนกดลงมาด้วยอัตราเร่งที่สม่ำเสมอจนก้อนทดสอบแตก บันทึกค่าแรงอัดสูงสุด หน่วยเป็นกิโลกรัม นำค่าที่ได้มาแทนในสมการเพื่อหาค่ากำลังอัดประลัยดังนี้

$$\text{กำลังอัดประลัย (MPa)} = \frac{\text{แรงอัดประลัย (กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ (ตารางเซนติเมตร)} \times 10.197} \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

ภาพที่ 3.3

การทดสอบกำลังรับแรงอัด



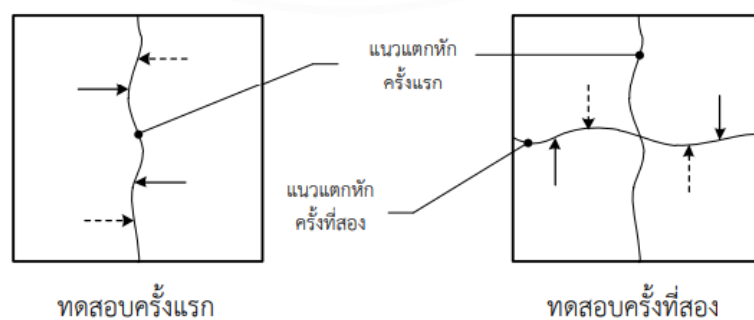
หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

3.5.2.4 การทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

ตัวอย่างแผ่นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทดสอบโดยวางขึ้นทดสอบลงบนที่รองรับโดยให้ด้านใช้งานอยู่ด้านบน จัดตำแหน่งแท่งกดให้ขนานและอยู่กึ่งกลางระหว่างที่รองรับทั้งสองด้าน กดขึ้นทดสอบด้วยอัตราคงที่ให้แตกหักภายใน 10 วินาที ถึง 30 วินาที บันทึกค่าแรงกด และวัดความหนาในแนวแตกหักของแผ่นซีเมนต์เส้นใย จำนวน 2 ตำแหน่ง

ภาพที่ 3.4

ตำแหน่งการวัดความหนาตามรอยแตกหักของขึ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส



หมายเหตุ. มอก. 1427-2561

ค่าโมดูลัสแตกร้าวคำนวณจากสูตร

$$MOR = \frac{3Fl_s}{2be^2} \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

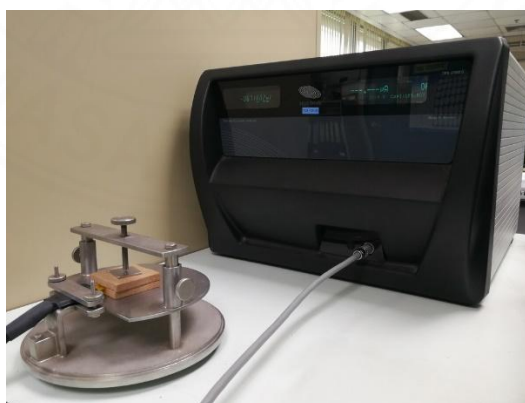
โดยที่ **MOR** คือ โมดูลัสแตกร้าว เป็นเมกะพาสคัล
F คือ แรงกดแตกหัก เป็นนิวตัน
 l_s คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร
b คือ ความกว้างชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร
e คือ ค่าเฉลี่ยความหนาชิ้นทดสอบตามแนวการแตกหัก เป็นมิลลิเมตร
 (โดย ค่าเฉลี่ย 2 ตำแหน่ง สำหรับแผ่นซีเมนต์เส้นใยผิวเรียบ และค่าเฉลี่ย 4 ตำแหน่ง สำหรับแผ่นซีเมนต์เส้นใยผิวลวดลายนูน)

3.5.2.5 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) นำชิ้นทดสอบเข้าเครื่อง Thermal Constant Analyzer (Hot Disk TCA) โดยใช้เทคนิค Thermal constant analysis และ Disk type ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิด้านหนึ่งให้กับแผ่นทดสอบให้คงที่ และเครื่องมือจะทำการบันทึกค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ภาพที่ 3.5

Hot Disk Thermal Constant Analyzer (TCA)



หมายเหตุ. MTEC ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

3.5.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นประกอบฯประกอบด้วย การทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน มอก. 409-2525 ค่าความหนาแน่นปรากฏ (ρ) โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) ตามมาตรฐาน มอก.1427-2561 และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการใช้งานในองค์ประกอบของสถาปัตยกรรม

3.5.2.7 การประยุกต์ใช้งานในงานสถาปัตยกรรม

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาแผ่นประกอบฯเพื่อเป็นองค์ประกอบในงานสถาปัตยกรรมได้อย่างเหมาะสมเพื่อนำแผ่นประกอบที่ได้จากการศึกษามาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การนำแผ่นวัสดุผสมซีเมนต์จากพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้ไปใช้ในรูปแบบของวัสดุปิดผิว ผนังภายใน โดยจะพัฒนาและศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้ในการต่อยอดรูปแบบการประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรมในการต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเรื่อง สมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานผนังอาคาร แบ่งการทดสอบออกเป็น การทดสอบกำลังอัด การทดสอบความหนาแน่นปรากฏ การทดสอบโมดูลัสแตกร้าว และการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 409-2525 และ มอก. 1427-2561 โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการทดสอบวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย

การศึกษาวิจัยเรื่อง สมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้ตามมาตรฐาน มอก.409-2525 และ มอก.1427-2561 โดยปริมาณสัดส่วนร้อยละของการเพิ่มพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

4.1.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏ

ผลการทดสอบผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดตามมาตรฐาน มอก.1427-2561 เพื่อดูผลการทดสอบที่ได้จากการผสมซีเมนต์บอร์ดที่ผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในแบบหล่อตัวอย่างขนาด $25.0 \times 25.0 \times 1.2$ ได้ผลทดสอบ ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏ

สัดส่วนผสม	มวลทดสอบ เมื่ออบแห้ง (กรัม)	มวลทดสอบเมื่อ อิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	มวลทดสอบ เมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
P0C0	1740.3	2090.10	1326.17	2.28	20.10
P0C2	1726.6	2105.07	1276.13	2.08	21.92
P0C4	1684.2	2116.43	1264.80	1.98	25.66
P0C6	1641.3	2121.37	1249.80	1.88	29.25
P5C0	1680.4	2093.27	1314.63	2.16	24.57
P5C2	1702.3	2105.87	1289.57	2.09	23.71
P5C4	1675.9	2113.33	1275.63	2.00	26.10
P5C6	1641.3	2122.77	1250.03	1.88	29.34
P10C0	1693.0	2095.60	1308.73	2.15	23.78
P10C2	1685.6	2111.50	1288.87	2.05	25.26
P10C4	1662.5	2121.23	1266.33	1.94	27.59
P10C6	1631.7	2125.33	1256.03	1.88	30.25
P15C0	1630.8	2100.40	1303.03	2.05	28.80
P15C2	1626.6	2109.07	1275.67	1.95	29.66
P15C4	1620.4	2118.10	1264.43	1.90	30.72
P15C6	1612.9	2125.37	1250.03	1.84	31.77

หมายเหตุ.

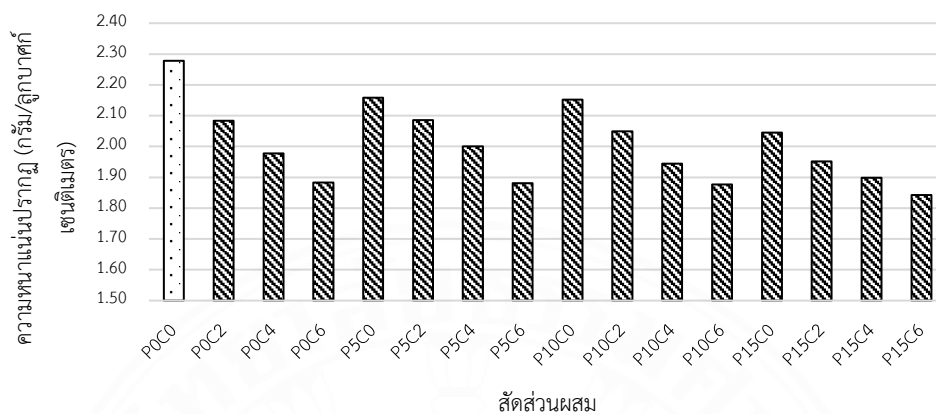
COP0 หมายถึง มอร์ตาร์ควบคุม

Px หมายถึง อัตราส่วนพลาสติก PET ที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0x
โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

Cy หมายถึง อัตราส่วนฟ้ายที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0y
โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ภาพที่ 4.1

ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏ

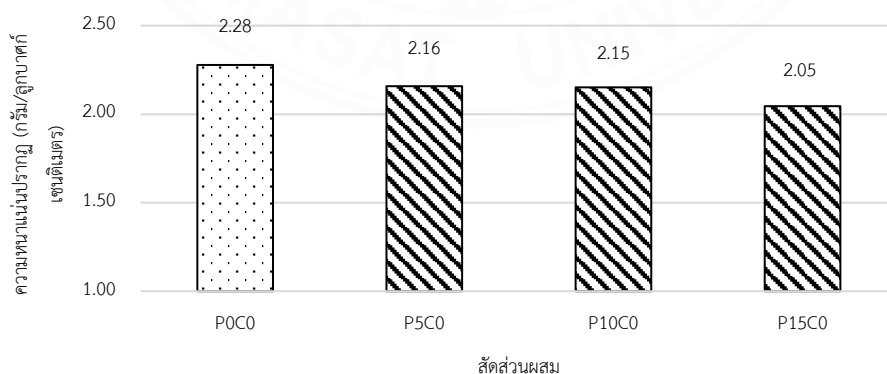


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ผลการเปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์พบว่าเมื่อผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 ส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏลดลงที่ร้อยละ 5.4 5.6 และ 10.3 ตามลำดับ จากส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุม ดังภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.2

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

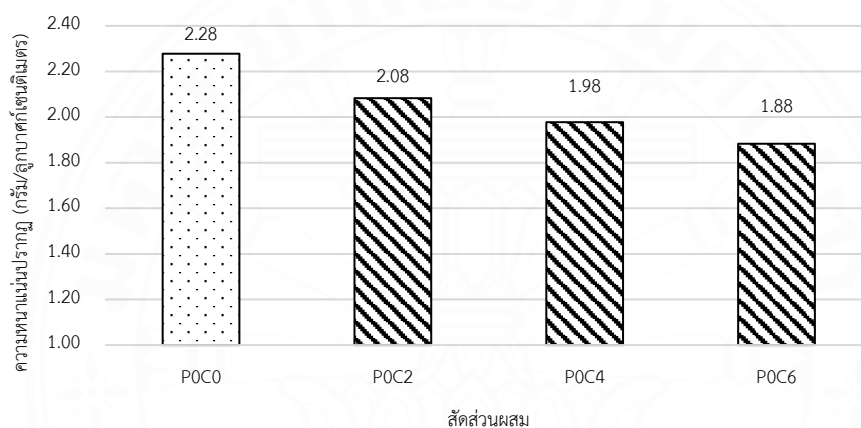


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษฝ้ายร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ พบว่าเมื่อผสมเศษฝ้ายร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏลดลงที่ร้อยละ 8.6 13.3 และ 17.4 ตามลำดับจากส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุม ดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษฝ้ายร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

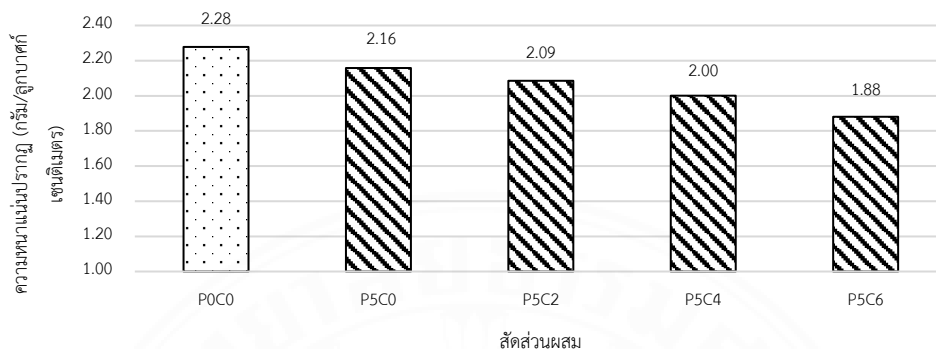


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ พบว่าเมื่อผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏลดลงในอัตราร้อยละ 5.4 8.5 12.3 และ 17.5 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุม ดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

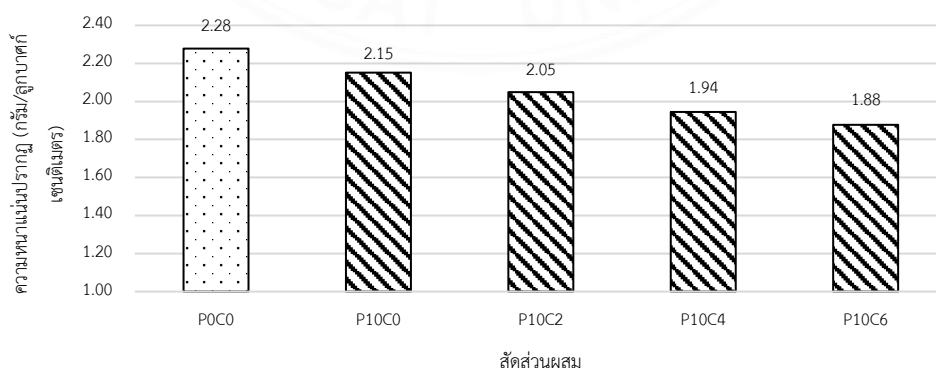


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ พบว่าเมื่อผสมผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏลดลงในอัตราร้อยละ 5.6 10.1 14.7 และ 17.7 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุม ดังภาพที่ 4.5

ภาพที่ 4.5

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

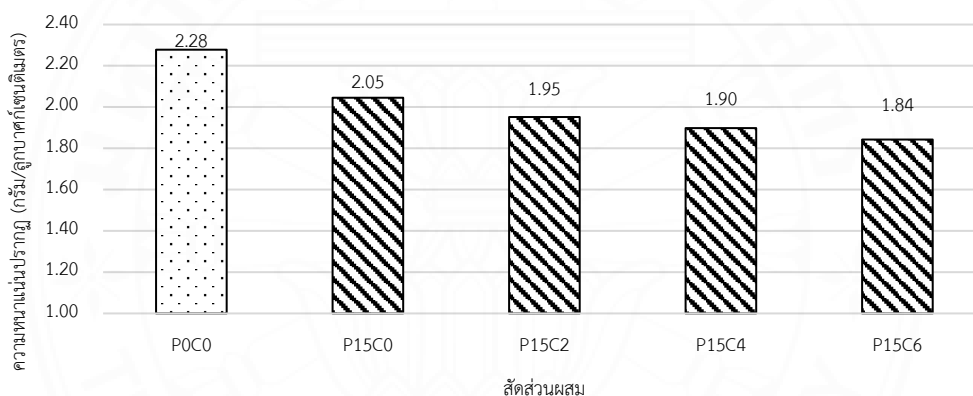


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสม
เศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ พบว่า
เมื่อผสมผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้ความหนาแน่น
ปรากฏลดลงในอัตราร้อยละ 10.3 14.4 16.8 และ 19.2 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นซีเมนต์
บอร์ดควบคุม ดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.6

ความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET
ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ในส่วนของการทดสอบเมื่ออบแห้ง และการทดสอบเมื่อแช่ในน้ำ และความ
หนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดมีค่าที่ลดลงเมื่อเทียบกับส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ด
ควบคุม เมื่อเพิ่มส่วนผสมของพลาสติก PET และเศษฝ้าย สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณรงค์ฤทธิ์
พิพัฒน์กิติราช (2556) ที่พบว่าเมื่อแทนที่พลาสติก PET ในทรายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่น
ของวัสดุลดลง จากลักษณะของเกล็ดพลาสติกที่ทำให้เกิดรูพรุนมากจึงเพิ่มความสามารถในการดูดซึมน้ำ
ที่มากกว่าส่วนผสมควบคุมที่ไม่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1427-2561 ได้กำหนดให้ค่าความ
หนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ดต้องมีค่ามากกว่า 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากการ
ทดสอบพบว่าแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายทุกส่วนผสม มีค่าความหนาแน่น
ปรากฏสูงกว่า 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในทุกส่วนผสมที่นำมาทดสอบ

4.1.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด(Compressive Strength)

ผลการทดสอบสมบัติกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน มอก. 409-2525 เพื่อดูผลการทดสอบที่ได้จากการผสมก้อนมอร์ตาร์ที่ผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในแบบหล่อตัวอย่างขนาด 5.0 x 5.0 x 5.0 เซนติเมตร โดยใช้ระยะเวลาในการบ่มน้ำ 7 14 และ 28 นำค่าเฉลี่ยของกำลังอัดแทนค่าในสมการที่ 3.2 ได้ผลทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ขนาด 5.0 x 5.0 x 5.0 เซนติเมตรที่ 7 14 และ 28 วัน

สัดส่วนผสม	กำลังอัด (MPa)		
	7 วัน	14 วัน	28 วัน
P0C0	25.6	33.8	41.0
P0C2	17.2	22.6	27.0
P0C4	15.1	19.8	23.5
P0C6	13.9	18.3	21.6
P5C0	16.6	21.8	26.0
P5C2	15.0	19.7	23.4
P5C4	13.9	18.2	21.5
P5C6	12.3	16.1	18.9
P10C0	15.4	20.2	24.1
P10C2	13.8	18.1	21.3
P10C4	12.8	16.7	19.7
P10C6	12.0	15.7	18.4
P15C0	13.1	17.1	20.2
P15C2	12.5	16.3	19.2
P15C4	12.3	16.1	18.9
P15C6	11.6	15.1	17.7

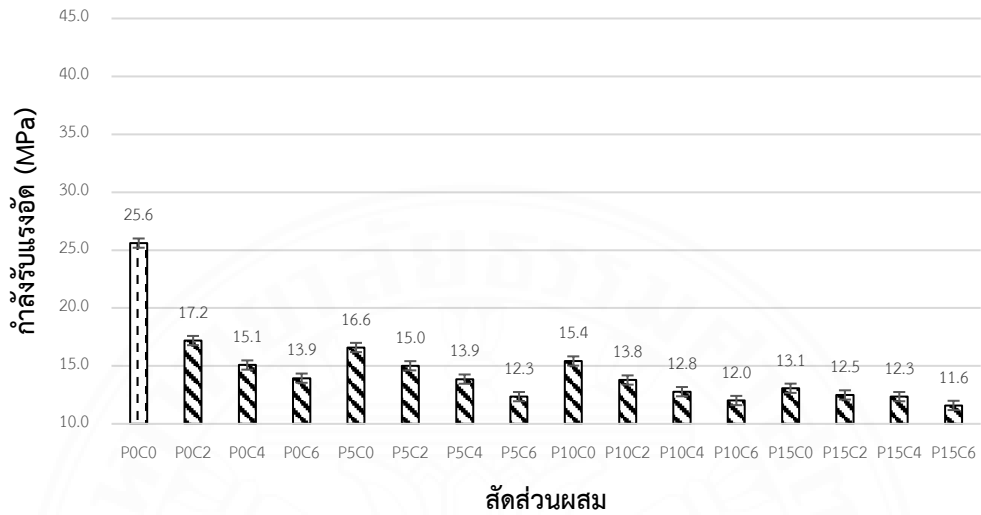
หมายเหตุ. C0P0 หมายถึง มอร์ตาร์ควบคุม

Px หมายถึง อัตราส่วนพลาสติก PET ที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0x โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

Cy หมายถึง อัตราส่วนฝ้ายที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0y โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ภาพที่ 4.7

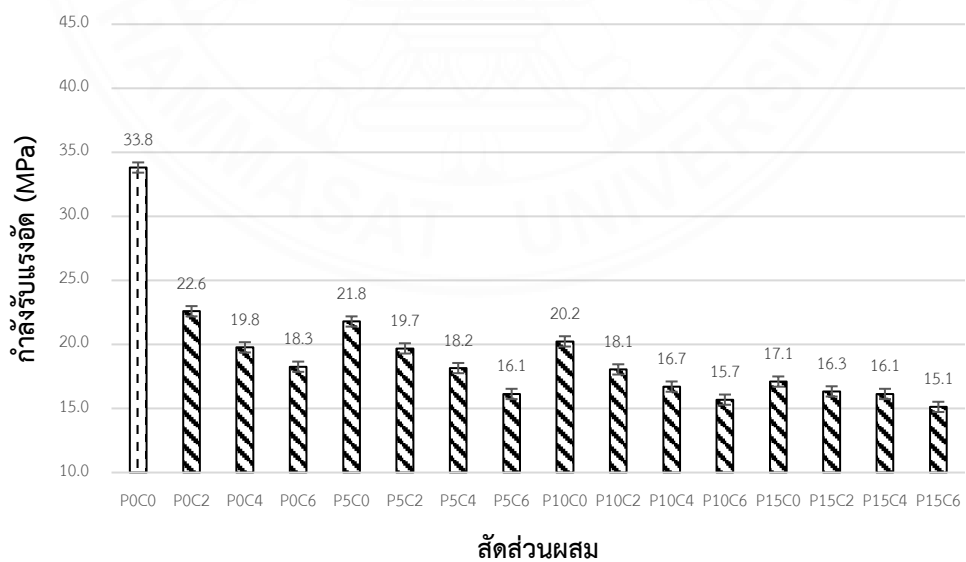
กำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย ที่อายุ 7 วัน



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ภาพที่ 4.8

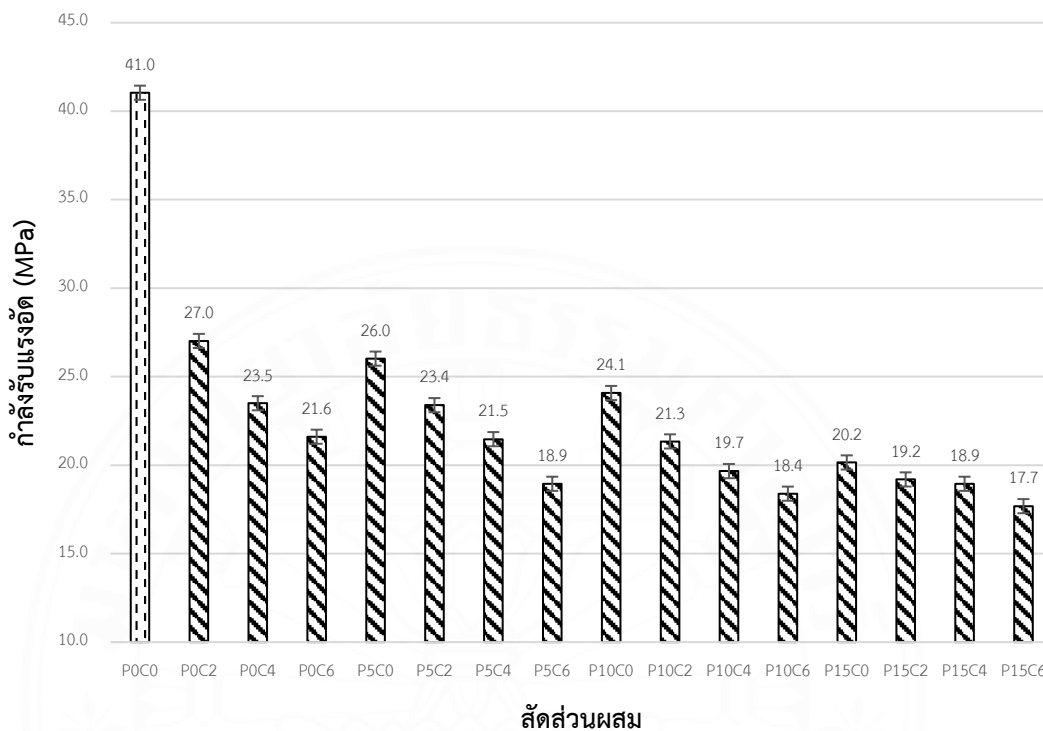
กำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย ที่อายุ 14 วัน



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ภาพที่ 4.9

กำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย ที่อายุ 28 วัน



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

จาก ภาพที่ 4.7, ภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 พบว่าผลการศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายมีแนวโน้มลดลงเป็นอย่างมากที่สุดถึงร้อยละ 56.9 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของพลาสติก PET และเศษฝ้ายมากขึ้น เนื่องจากปริมาณของพลาสติก PET และเศษฝ้ายส่งผลให้การเทมอร์ตาร์ไม่สามารถกระจายตัวในแบบได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณรงค์ฤทธิ์ พิพัฒน์กิติราช (2556) ที่พบว่าเมื่อทำการแทนที่พลาสติก PET ลงในมอร์ตาร์ถึงร้อยละ 15 ค่ากำลังอัดจะลดลงจากมอร์ตาร์ควบคุมถึงร้อยละ 50 มอร์ตาร์ที่ผสมพลาสติก PET มีแนวโน้มการลดลงของกำลังอัดที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเศษฝ้ายอยู่เล็กน้อย

4.1.3 ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดตามมาตรฐาน มอก. 1427-2561 เพื่อดูผลการทดสอบที่ได้จากการผสมซีเมนต์บอร์ดที่ผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในแบบหล่อตัวอย่างขนาด 25.0 x 25.0 x 1.2 ได้ผลทดสอบ ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.3

ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

สัดส่วนผสม	โมดูลัสแตกร้าว (MPa)
P0C0	5.6
P0C2	5.6
P0C4	5.7
P0C6	5.7
P5C0	6.1
P5C2	5.9
P5C4	5.8
P5C6	5.7
P10C0	7.2
P10C2	7.0
P10C4	6.8
P10C6	6.6
P15C0	7.0
P15C2	6.8
P15C4	6.6
P15C6	6.5

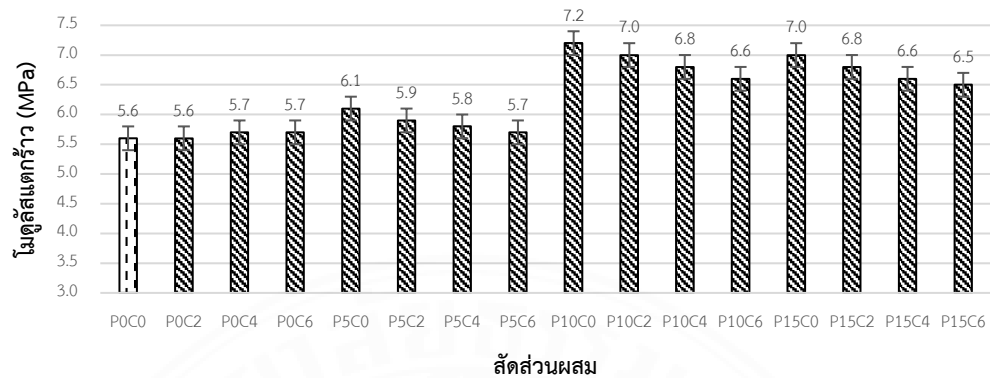
หมายเหตุ. COPO หมายถึง มอร์ตาร์ควบคุม

Px หมายถึง อัตราส่วนพลาสติก PET ที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0x โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

Cy หมายถึง อัตราส่วนฝ้ายที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0y โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ภาพที่ 4.10

โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย

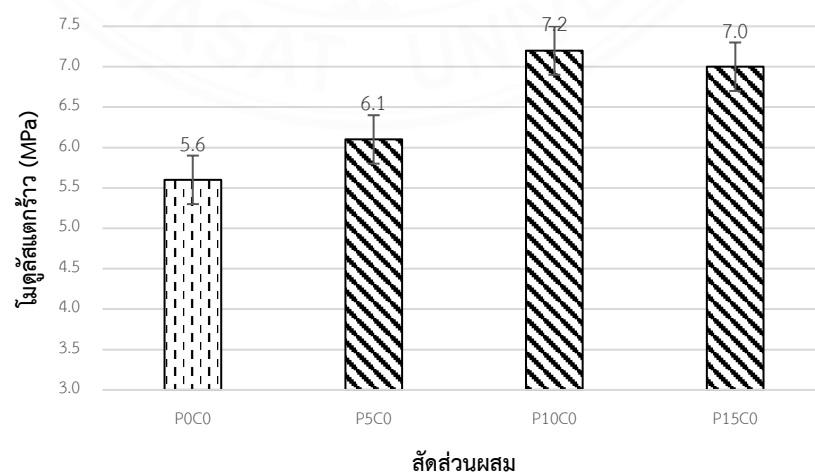


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์พบว่าเมื่อผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 ส่งผลให้โมดูลัสแตกร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นจากแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมที่ร้อยละ 9.0 27.7 และ 25.9 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.11

ภาพที่ 4.11

โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

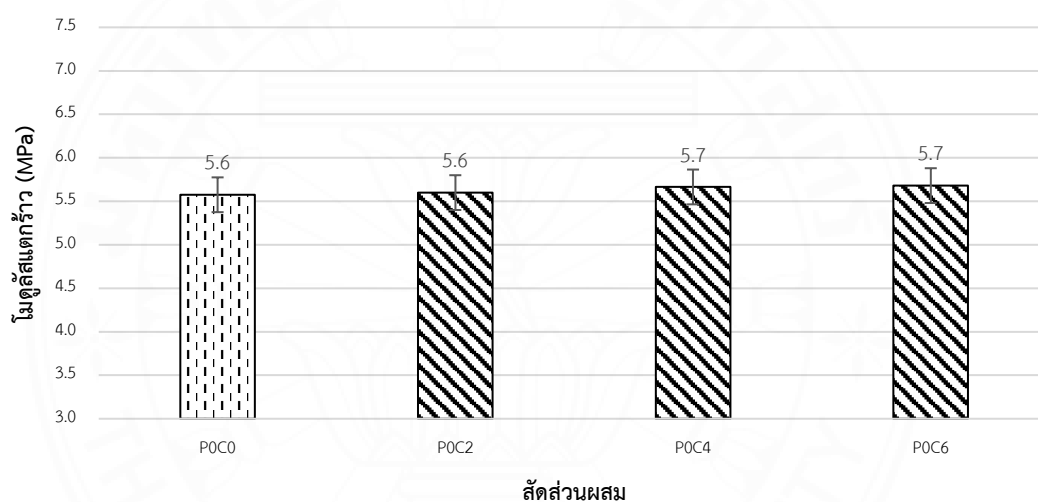


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์พบว่าผสมเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้โมดูลัสแตกร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมที่ร้อยละ 0.0 1.2 และ 1.4 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.12

โมดูลัสแตกร้าวของโมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

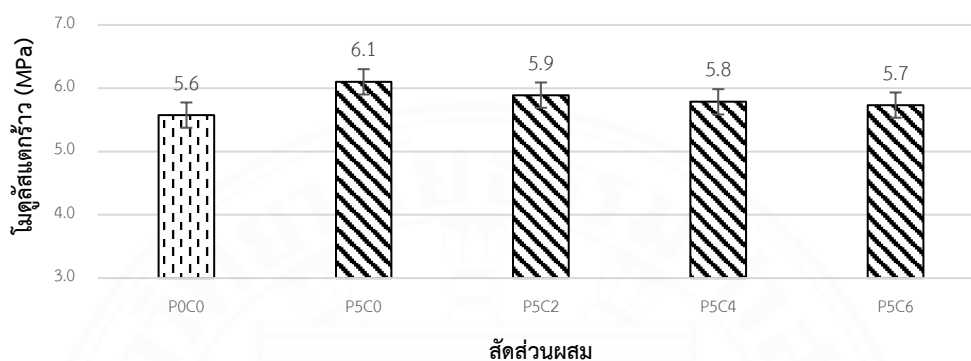


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์พบว่าผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้โมดูลัสแตกร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นจากแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมที่ร้อยละ 9.0 5.2 3.3 และ 2.4 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.13

ภาพที่ 4.13

โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมหักับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

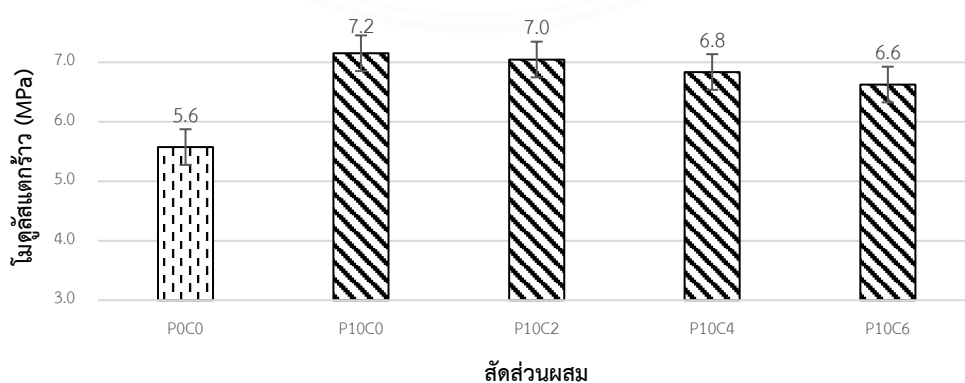


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมหักับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์พบว่าผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้โมดูลัสแตกร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นจากแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมหักับร้อยละ 27.7 25.9 22.1 และ 18.3 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.14

ภาพที่ 4.14

โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมหักับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

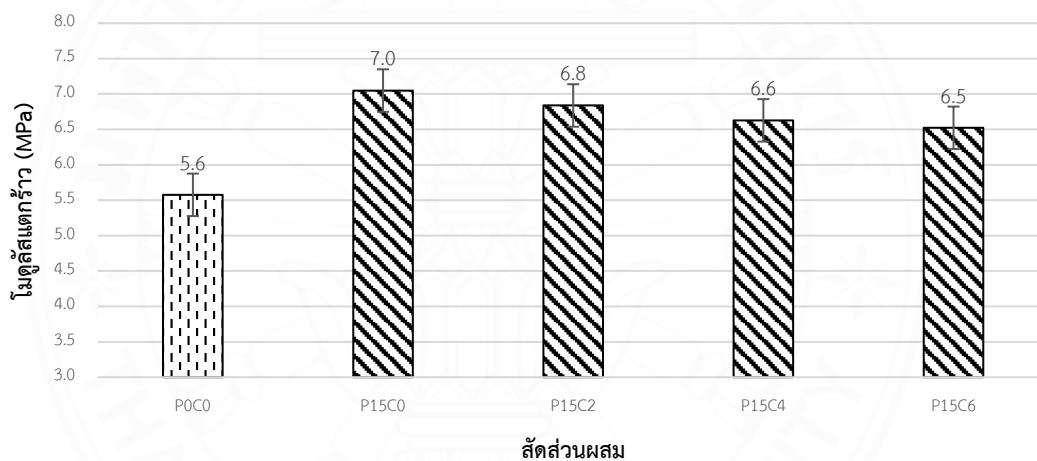


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์พบว่าผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 ส่งผลให้โมดูลัสแตกร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นจากแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมที่ร้อยละ 25.9 22.1 18.3 และ 16.5 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.15

โมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

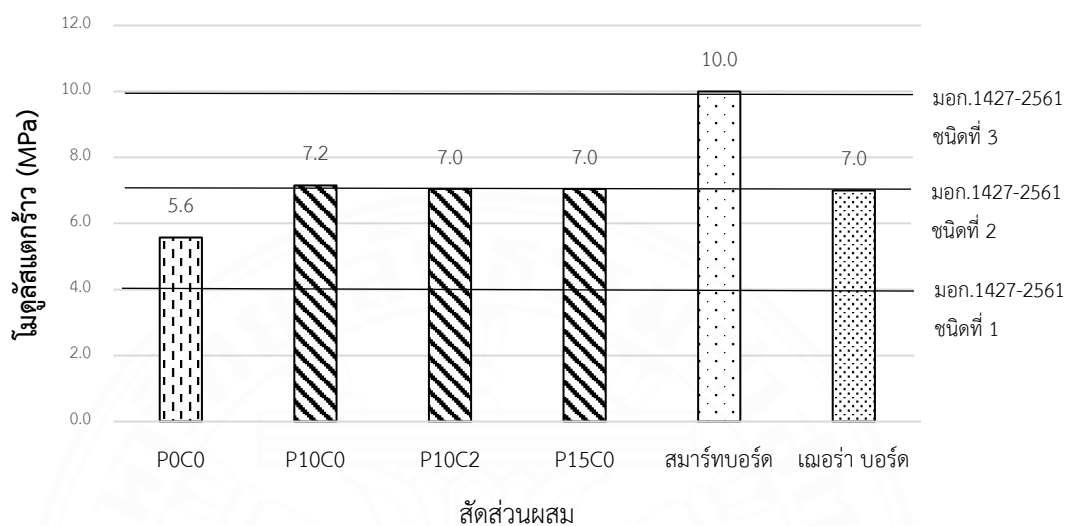


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

พบว่าโมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย สามารถผ่านเกณฑ์ของ มอก.1427-2561 ชนิดที่ 1 ประเภทที่ไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรง โดยต้องมีค่าโมดูลัสแตกร้าวมากกว่า 4 MPa และมีเพียง 3 ส่วนผสมที่สามารถผ่านเกณฑ์ ชนิดที่ 2 ที่ต้องมีค่าโมดูลัสแตกร้าวมากกว่า 7 MPa คือ ส่วนผสม C10C0 C10C2 และ C15C0 ดังภาพที่ 4.12 และเมื่อเปรียบเทียบโมดูลัสแตกร้าวกับวัสดุผนังในท้องตลาด C10C0 C10C2 และ C15C0 มีค่าเทียบเท่ากับ เฌอรา บอร์ด แต่น้อยกว่าสามารถบอร์ดที่มีค่าโมดูลัสแตกร้าวอยู่ที่ 10 MPa ซึ่งเป็นซีเมนต์บอร์ดชนิดที่ 3 ตาม มอก.1427-2561 ดังภาพที่ 4.16

ภาพที่ 4.16

โมดูลัสแตกกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุม ซีเมนต์บอร์ดผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย และวัสดุ
ในท้องตลาด



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

4.1.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) นำขึ้น
ทดสอบเข้าเครื่อง Thermal Constant Analyzer (Hot Disk TCA) โดยใช้เทคนิค Thermal
Constant Analysis และ Disk type เพื่อดูผลการทดสอบที่ได้จากการผสมขึ้นทดสอบที่ผสมพลาสติก
PET ที่ร้อยละ 5 10 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในแบบหล่อ
ตัวอย่างขนาด 5.0 x 5.0 x 2.0 ได้ผลทดสอบดัง ตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.17

ตารางที่ 4.4

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สัดส่วนผสม	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัดต่อเมตร. เคลวิน)
P0C0	0.59
P0C2	0.54
P0C4	0.57
P0C6	0.58
P5C0	0.55
P5C2	0.55
P5C4	0.53
P5C6	0.52
P10C0	0.62
P10C2	0.56
P10C4	0.51
P10C6	0.54
P15C0	0.56
P15C2	0.50
P15C4	0.48
P15C6	0.53

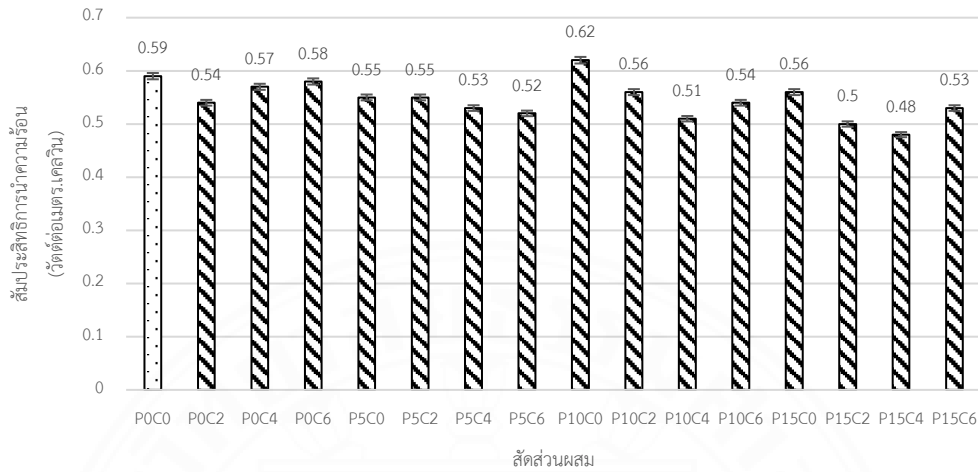
หมายเหตุ. COPO หมายถึง มอร์ตาร์ควบคุม

Px หมายถึง อัตราส่วนพลาสติก PET ที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0x โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

Cy หมายถึง อัตราส่วนฝ้ายที่ใช้ผสมเพิ่ม อัตราส่วนร้อยละ 0.0y โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ภาพที่ 4.17

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

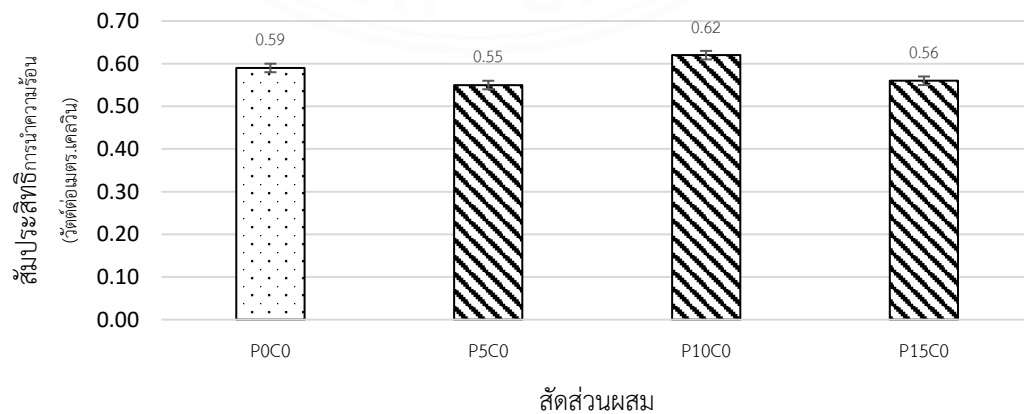


หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์พบว่าเมื่อผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าลดลงจากแผ่นซีเมนต์บอร์ดควบคุมที่ร้อยละ 7.2 9.0 และ 9.5 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.18

ภาพที่ 4.18

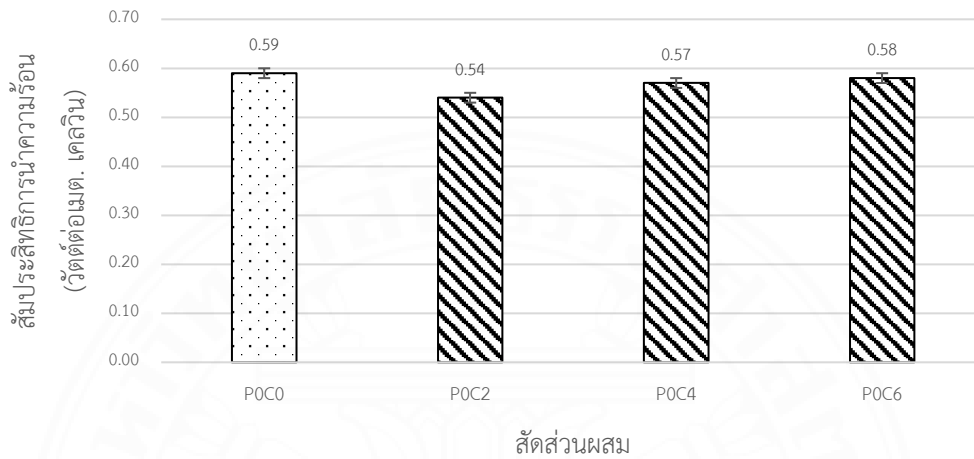
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ภาพที่ 4.19

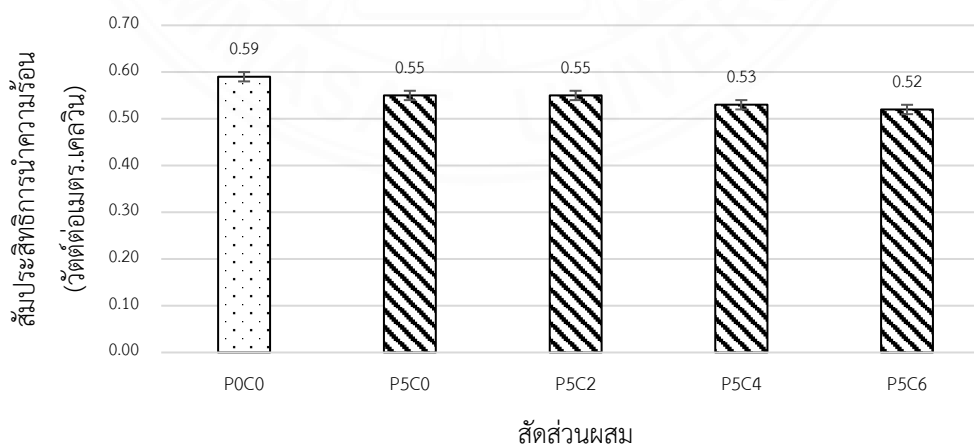
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ภาพที่ 4.20

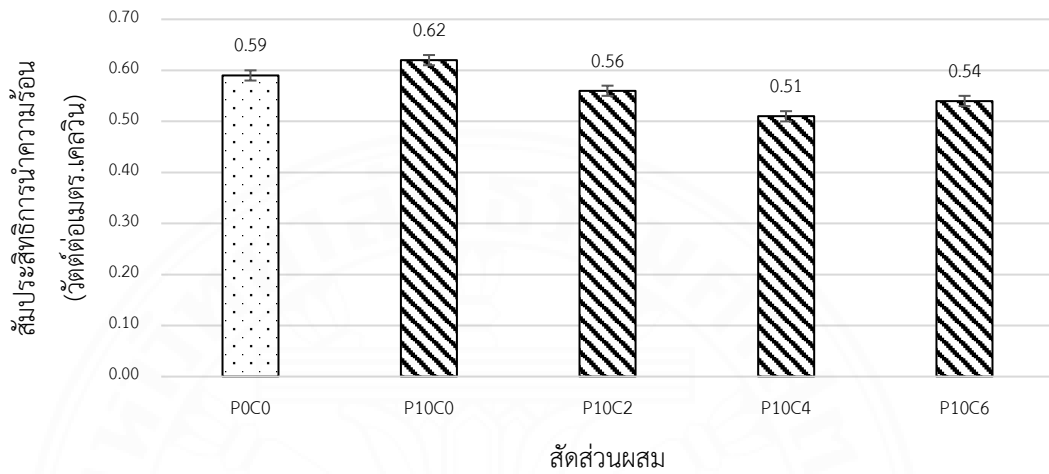
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 5 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ภาพที่ 4.21

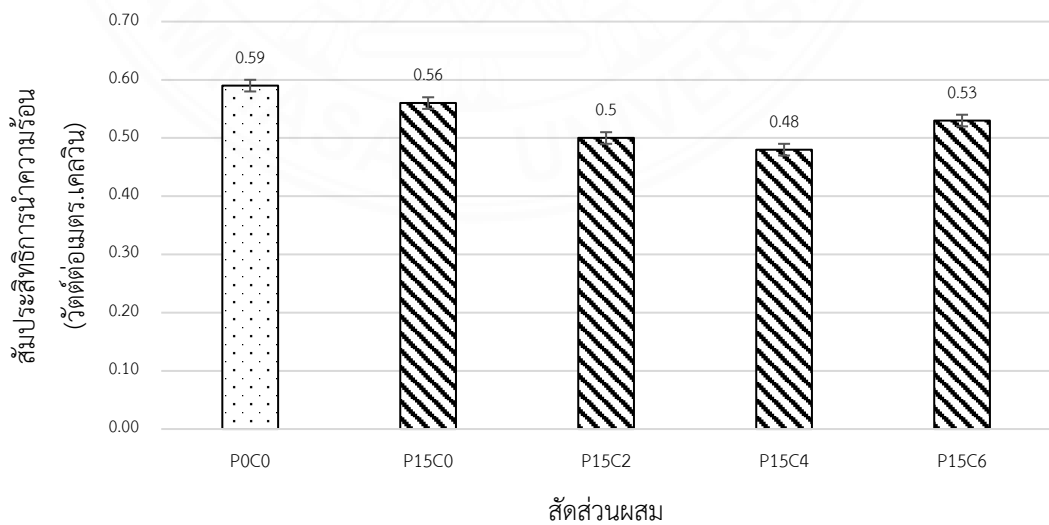
สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 10 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

ภาพที่ 4.22

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET ร้อยละ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์

ผสมเศษฝ้าย

จากการพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.4 และภาพประกอบที่ 4.17 ถึง 4.22 พบว่าการเพิ่มส่วนผสมเศษฝ้ายในวัสดุซีเมนต์ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยมีข้อสังเกตดังนี้:

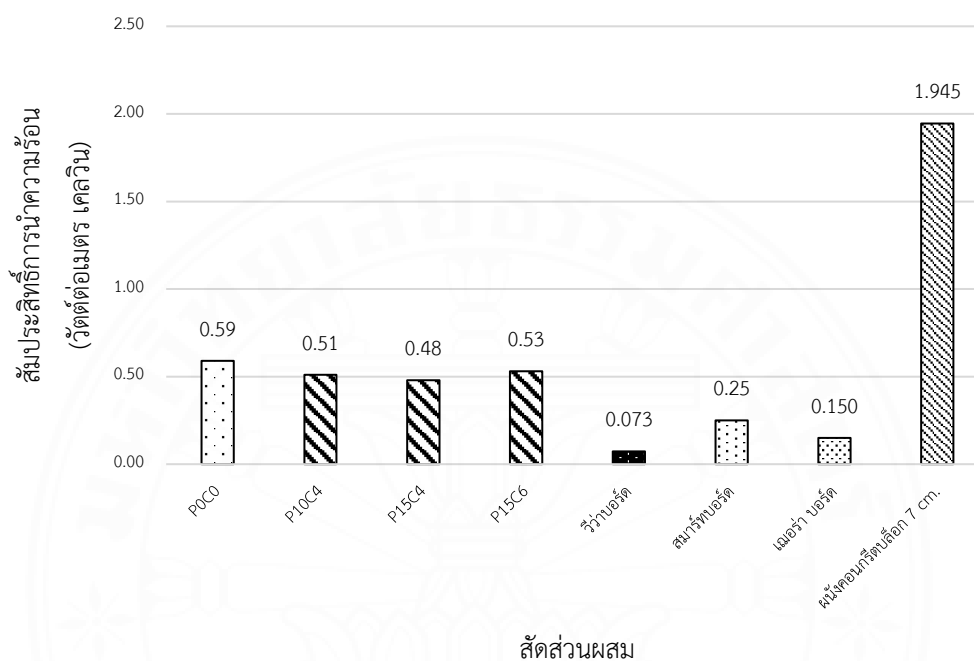
แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงเมื่อมีสัดส่วนผสมของฝ้ายต่ำ : เมื่อมีการผสมเศษฝ้ายที่อัตราร้อยละ 2 และ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์มีแนวโน้มลดลงจากสัดส่วนผสมควบคุม ซึ่งบ่งชี้ว่าฝ้ายมีส่วนช่วยลดการนำความร้อนได้ในระดับหนึ่ง

แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงเมื่อมีสัดส่วนผสมของฝ้ายสูง : เมื่อผสมเศษฝ้ายถึงอัตราร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ กลับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสวนทางกับแนวโน้มที่ควรจะเป็น

สาเหตุที่เป็นไปได้ของผลการศึกษานี้ คือ ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีอายุมากกว่า 28 วัน ซึ่งอาจทำให้กระบวนการไฮเดรชันระหว่างน้ำกับซีเมนต์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและสมบูรณ์มากขึ้น นอกจากนี้ สัดส่วนผสมที่มีฝ้ายร้อยละ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์มีปริมาณน้ำสูงกว่าสัดส่วนผสมอื่น ๆ ซึ่งน้ำที่ตกค้างอยู่ในฝ้ายอาจส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงขึ้นกว่าที่คาดการณ์ไว้ แม้ว่าโดยทั่วไปแล้วการเพิ่มฝ้ายในสัดส่วนผสมควรจะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนก็ตาม

ภาพที่ 4.23

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย กับวัสดุผนังในท้องตลาด



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ควบคุมกับวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย กับวัสดุผนังในท้องตลาด

พบว่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย จะมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มส่วนผสมของเศษพลาสติก PET และเศษฝ้าย โดยที่การเพิ่มเศษฝ้ายในวัสดุซีเมนต์ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงมากกว่าการเพิ่มเศษพลาสติก PET ลงในส่วนผสมเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ N. Abidi (2561) ที่ระบุว่าเมื่อเพิ่มเศษฝ้ายในส่วนผสมมากขึ้นสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะยิ่งน้อยลง โดยที่ส่วนผสมที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยที่สุด 3 ตัวอย่าง คือ P10C4 P15C4 และ P15C6 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ 0.51 0.48 และ 0.53 วัตต์ต่อเมตร. เคลวิน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยกว่าวัสดุซีเมนต์ควบคุม แต่ยังคงมากกว่าวัสดุในท้องตลาด คือ ฐีวำบอรัถ สมารัทบอรัถ และเมอรัวำบอรัถ แต่ยังคงน้อยกว่าผนังคอนกรีตบล็อก ดังภาพที่ 4.23

4.1.5 การเปรียบเทียบต้นทุนของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย กับวัสดุในท้องตลาด

จากการศึกษาสมบัติของวัสดุซีเมนต์ที่มีค่าโมดูลัสแตกร้าวมากที่สุด 3 ส่วนผสม ได้แก่ C10C0, C10C2 และ C15C0 ผู้วิจัยได้ดำเนินการคำนวณต้นทุนวัสดุและค่าการผลิตของที่ใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ด โดยพิจารณาจากขนาดมาตรฐานของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งมีขนาด 240 x 120 x 1.2 เซนติเมตร หรือคิดเป็นปริมาตร 34,560 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ด

ในการวิเคราะห์ต้นทุนเบื้องต้น ผู้วิจัยได้พิจารณาจากปัจจัยหลักดังต่อไปนี้:

ต้นทุนวัตถุดิบ	: คำนวณจากน้ำหนักของส่วนผสมแต่ละชนิดที่ใช้ในแต่ละสัดส่วนผสม
ค่าไฟฟ้า	: กำหนดอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องผสมแผ่นซีเมนต์ที่ 4 กิโลวัตต์ (kW) โดยมีระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และค่าไฟฟ้า 3.91 บาทต่อหน่วย
ค่าแรงงาน	: กำหนดอัตราค่าแรงงานที่ 400 บาทต่อวัน โดยมีอัตราการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดเฉลี่ย 35 แผ่นต่อวัน

จากการคำนวณข้างต้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลทั้งหมดมาประเมิน ต้นทุนการผลิตต่อแผ่น โดยไม่รวมค่าใช้จ่ายในการจัดการและค่าขนส่ง การวิเคราะห์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการลงทุน

นอกจากนี้ ในการคำนวณราคาจำหน่าย ผู้วิจัยได้บวกกำไรเพิ่มจากต้นทุนร้อยละ 70 ทั้งนี้ เพื่อครอบคลุมค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่ไม่รวมอยู่ในต้นทุนการผลิตโดยตรง เช่น ค่าบำรุงรักษา ค่าดำเนินการ และเพื่อให้การพัฒนาต่อยอดไปสู่ระดับอุตสาหกรรมมีความเป็นไปได้ทางการเงิน

โดยการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย กับแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่พบในท้องตลาดซึ่งอยู่ภายใต้รูปแบบการนำไปใช้งานประเภทเดียวกันในการวิเคราะห์ ผลการเปรียบเทียบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5

ต้นทุนการผลิตของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย

สัดส่วนผสม	ปริมาตรต่อแผ่น (ลบ.ซม.)	น้ำหนักต่อแผ่น (กรัม)	ต้นทุนวัตถุดิบต่อแผ่น (บาท)	ค่าแรงงานต่อแผ่น (บาท)	ค่าไฟฟ้าต่อแผ่น (บาท)	ต้นทุนต่อแผ่น (บาท)	ต้นทุน+กำไรต่อแผ่น (บาท)
C10C0	35038.87	76309.24	127.52 ^{1,2}	11.42 ³	3.57 ⁴	142.51	242.27
C10C2	35035.76	76159.35	137.06 ^{1,2}	11.42 ³	3.57 ⁴	152.05	258.49
C15C0	35265.44	76121.36	135.26 ^{1,2}	11.42 ³	3.57 ⁴	150.25	255.43

หมายเหตุ. 1. ไทวัสดุ, 2567

2. วงษ์พาณิชย์, 2567

3. กระทรวงแรงงาน, 2567

4. การไฟฟ้านครหลวง, 2567

ตารางที่ 4.6

ราคาแผ่นซีเมนต์บอร์ดต่อตารางเมตร

วัสดุ	ขนาด (เซนติเมตร)	ราคาต่อแผ่น (บาท)	ราคาต่อตารางเมตร (บาท/ตารางเมตร)
C10C0	240 x 120 x 1.2	242.27	84.12
C10C2	240 x 120 x 1.2	258.49	89.75
C15C0	240 x 120 x 1.2	255.43	88.69
Shera board ⁵	240 x 120 x 1.2	495	171.88
Viva board ⁶	240 x 120 x 1.2	570	197.92
Smart board ⁷	240 x 120 x 1.2	545	189.24

หมายเหตุ. 5. Shera board, 2567.

6. VIVA board, 2567.

7. Smart board, 2567.

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย พบว่าแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีค่าโมดูลัสแตกร้าวมากที่สุด 3 สัดส่วนผสม มีราคาการผลิตใกล้เคียงกัน เนื่องจากราคาต่อหน่วยของพลาสติก PET และเศษฝ้ายที่ผสมในแผ่นซีเมนต์บอร์ดในแต่ละสัดส่วนผสมมีราคาไม่สูงซึ่งส่งผลโดยตรงต่อราคาการผลิต จึงเป็นสาเหตุให้ราคาการผลิตของแผ่นซีเมนต์บอร์ดในแต่ละสัดส่วนผสมมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

ผลจากการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ทางการลงทุนจากการพิจารณาราคาการผลิตของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายกับราคาขายของวัสดุแผ่นซีเมนต์บอร์ดในท้องตลาด ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า ราคาการผลิตของวัสดุแผ่นซีเมนต์ทั้ง 3 สัดส่วนผสม มีราคาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่เป็นซีเมนต์บอร์ดตามท้องตลาด



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทำการทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน โดยเริ่มจากการรวบรวมงานวิจัย ทฤษฎีและกรณีศึกษาเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการผลิตวัสดุซีเมนต์ เพื่อนำไปสู่ การทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล ตามมาตรฐาน มอก.1427-2561 และการทดสอบสมบัติทางความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C177 โดยใช้สัดส่วนผสม พลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ โดยผลที่ได้จากการศึกษานำไปสู่การเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุซีเมนต์กับวัสดุในท้องตลาด รวมถึงรูปแบบวิธีการติดตั้งที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในงานสถาปัตยกรรม ซึ่งสามารถวิเคราะห์และสรุปผล การทดลองได้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 สมบัติทางกายภาพ

5.1.1.1 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

5.1.2 สมบัติทางกล

5.2.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

5.1.2.2 การทดสอบโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture)

5.1.3 สมบัติทางความร้อน

5.1.3.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

5.1.4 เปรียบเทียบสมบัติของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้

5.2 การประยุกต์ใช้วัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายในงานสถาปัตยกรรม

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.3.1 ข้อจำกัดในการวิจัย

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้ โดย สัดส่วนผสม พลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้

5.1.1.1 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่ม อัตราส่วนของพลาสติก PET และเศษฝ้ายส่งผลให้วัสดุประกอบซีเมนต์มีค่าความหนาแน่นลดลง เนื่องจากพลาสติก PET และเศษฝ้ายเมื่อผสมลงในวัสดุซีเมนต์ส่งผลให้วัสดุซีเมนต์มีรูพรุนมากขึ้นซึ่ง ส่งผลโดยตรงต่อค่า ความหนาแน่นของวัสดุผสมซีเมนต์ ดังนั้นวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และ เศษฝ้ายที่ความหนาแน่นปรากฏน้อยที่สุดเป็นส่วนผสม P15C6 และส่วนผสมที่มีความหนาแน่น ปรากฏมากที่สุดคือส่วนผสม P0C2

5.1.2 สมบัติทางกล

สมบัติทางกลของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้ โดย สัดส่วนผสม พลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้

5.1.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET ที่ ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วน ของพลาสติก PET และเศษฝ้ายส่งผลให้วัสดุประกอบซีเมนต์มีค่ากำลังอัดลดลง เนื่องจากพลาสติก PET และเศษฝ้ายเมื่อผสมลงในวัสดุซีเมนต์ส่งผลให้วัสดุซีเมนต์มีรูพรุนมากขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่า กำลังรับแรงของวัสดุผสมซีเมนต์ ดังนั้นวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย ส่วนผสมที่รับ กำลังรับแรงมากที่สุดจะเป็นส่วนผสม P0C2 ซึ่งมีปริมาณวัสดุผสมเพิ่มน้อยที่สุด และส่วนผสมที่รับ กำลังอัดได้น้อยสุดคือส่วนผสม P15C6

5.1.2.2 การทดสอบโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture)

ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET ที่ ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วน ของพลาสติก PET และเศษฝ้ายส่งผลให้วัสดุประกอบซีเมนต์มีค่าโมดูลัสแตกร้าวเพิ่มขึ้นเมื่อผสม

พลาสติก PET และเศษฝ้ายในส่วนผสม เนื่องจากพลาสติก PET และเศษฝ้ายเมื่อผสมลงในวัสดุซีเมนต์ส่งผลให้วัสดุซีเมนต์พลาสติก PET และเศษฝ้ายจะทำหน้าที่เป็นเส้นใยยึดเกาะเพิ่มความเหนียวให้กับวัสดุซีเมนต์ โดยเมื่อผสมพลาสติก PET จะมีค่าโมดูลัสต่ำกว่ามากกว่าเมื่อผสมเศษฝ้ายอยู่เล็กน้อย และเมื่อผสมพลาสติก PET ถึงร้อยละ 10 และเศษฝ้ายถึงร้อยละ 2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ค่าโมดูลัสต่ำกว่าจะมีค่าลดลงจากการที่ส่วนผสมเพิ่มที่มีปริมาณมากเกินไป โดยที่ซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายสามารถผ่านเกณฑ์ของ มอก.1427-2561 ชนิดที่ 1 ประเภทที่ไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรง โดยต้องมีค่าโมดูลัสต่ำกว่ามากกว่า 4 MPa และมีเพียง 3 ส่วนผสมที่สามารถผ่านเกณฑ์ ชนิดที่ 2 ที่ต้องมีค่าโมดูลัสต่ำกว่ามากกว่า 7 MPa คือส่วนผสม C10C0 C10C2 และ C15C0

5.1.3 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้ โดยสัดส่วนผสม พลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้

5.1.3.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 และเศษฝ้ายที่ร้อยละ 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของพลาสติก PET และเศษฝ้ายส่งผลให้วัสดุประกอบซีเมนต์มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง เนื่องจากพลาสติก PET และเศษฝ้ายเมื่อผสมลงในวัสดุซีเมนต์ส่งผลให้วัสดุซีเมนต์มีรูพรุนมากขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุผสมซีเมนต์ และพลาสติก PET และเศษฝ้ายมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อน โดยที่การเพิ่มเศษฝ้ายในวัสดุซีเมนต์ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงมากกว่าการเพิ่มเศษพลาสติก PET ลงในส่วนผสมเล็กน้อย โดยที่ส่วนผสมที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยที่สุดคือส่วนผสม P15C4 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ 0.48 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน

5.1.4 การเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้กับวัสดุในท้องตลาด

ผลการเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายกับวัสดุผนังภายในที่มีจำหน่ายทั่วไป พบว่าวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายมีความหนาแน่นปรากฏและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่าซีเมนต์บอร์ดีในท้องตลาด เนื่องจากปริมาณทรายที่ผสมในปริมาณมากส่งผลให้วัสดุผสมซีเมนต์มีน้ำหนักมากและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมาก

ขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเทียบค่าการดูดซึมน้ำและราคาต่อตารางเมตรวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายมีค่าการดูดซึมน้ำและราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุซีเมนต์บอร์ตในท้องตลาด

เมื่อเทียบวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายกับกลุ่มวัสดุหลังคาในท้องตลาดพบว่าวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่น้อยกว่าวัสดุผนังหลังคาในท้องตลาดคือ กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและหลังคาถายมะตอย แต่มีค่าการดูดซึมน้ำที่มากกว่าจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุผนังหลังคา ยกเว้นมีการเคลือบสารป้องกันการดูดซึมน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1

สมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ตผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายเหลือใช้กับวัสดุในท้องตลาด

วัสดุ	โมดูลัส แตกร้าว (MPa)	ความหนาแน่น ปรากฏ (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	สัมประสิทธิ์การ นำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร เคลวิน)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ราคาต่อ ตารางเมตร (บาท/ตาราง เมตร)
C10C0	7.2	2.15	0.62	23.78	84.12
C10C2	7	2.05	0.56	25.27	89.75
C15C0	7	2.05	0.56	28.80	88.69
Shera board ¹	7	1.35	0.15	35	171.88
Viva board ²	12	1.26	0.1	15	197.92
Smart board ³	10	1.3	0.25	33	189.24
กระเบื้องหลังคาคอนกรีต ⁴	10	2.2	1.5	13	250
หลังคาเมทัลชีทพร้อม ฉนวน PE ⁵	-	35	0.037	-	240.18
หลังคาเมทัลชีท ⁵	50	35	45	-	175.24
หลังคาถายมะตอย ⁵	8	1.71	0.79	3	299.68

หมายเหตุ. 1. Shera board, 2567.

2. VIVA board, 2567.

3. Smart board, 2567.

4. ปูนซีเมนต์ไทย, 2567.

5. EUROLINE, 2567.

5.2 การประยุกต์ใช้วัสดุซีเมนต์ที่ผสมเศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายในงานสถาปัตยกรรม

การนำวัสดุมาใช้ในงานสถาปัตยกรรม การเลือกวัสดุที่เหมาะสมมีความสำคัญ โดยต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ลักษณะการใช้งานอาคาร ประเภทของผู้ใช้งาน รูปแบบการติดตั้ง และประสิทธิภาพของวัสดุ งานวิจัยนี้ได้นำผลการศึกษาสมบัติของวัสดุประกอบซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผนังสำหรับผนังภายในอาคาร ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

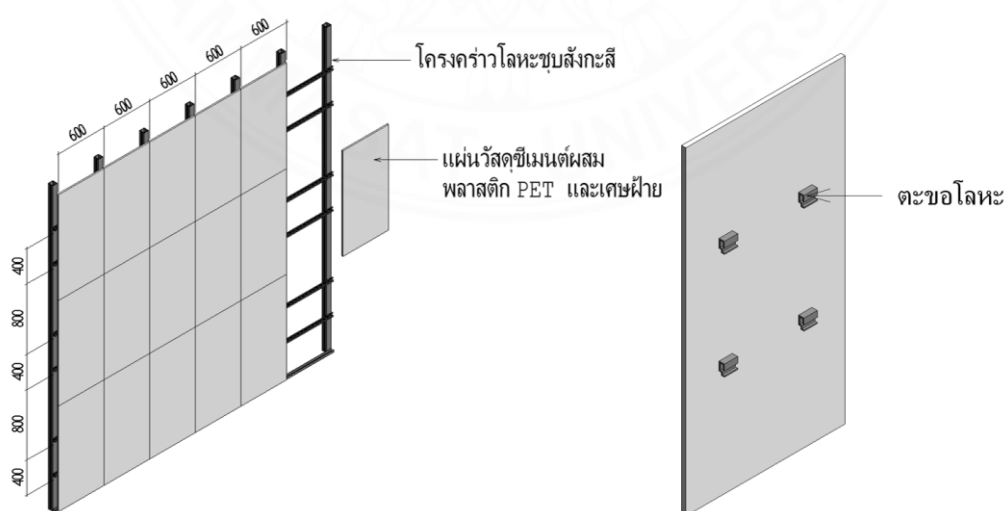
5.2.1 วัสดุผนัง

การนำวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายสามารถนำไปใช้โดยการยึดบนโครงคร่าวระยะห่าง 400 มิลลิเมตรด้วยตะขอกึ่งวงกลมที่ติดตั้งกับแผ่นวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายขณะขึ้นรูป การติดตั้งวิธีนี้สามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องหล่อหรือสกรู ดังภาพที่ 5.1

โดยวัสดุซีเมนต์ที่ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายสามารถนำไปใช้สำหรับผนังภายในอาคาร หรือภายนอกอาคาร โดยความหนาที่ใช้สำหรับปูผนังควรมากกว่า 12 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน มอก.1427-2561

ภาพที่ 5.1

ลักษณะการติดตั้งวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายสำหรับผนังเบา



หมายเหตุ. โดยผู้วิจัย, 2567.

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.3.1 ข้อจำกัดในการวิจัย

1. การบดวัสดุด้วยมือในงานวิจัยนี้อาจทำให้ขนาดของวัสดุไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในผลการทดสอบ นอกจากนี้เศษฝ้ายที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและมีแนวโน้มจับตัวกันเป็นก้อน อาจทำให้การกระจายตัวของเศษฝ้ายในวัสดุผสมไม่สม่ำเสมอเมื่อใช้ในปริมาณมาก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติและประสิทธิภาพของวัสดุผสมที่ได้

2. เนื่องจากเศษฝ้ายมีสมบัติในการดูดซึมน้ำสูง การผสมเศษฝ้ายในวัสดุซีเมนต์จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม เพื่อให้วัสดุผสมมีค่ากำลังรับแรงที่ต้องการ

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. จากการศึกษาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เศษพลาสติก PET และเศษฝ้ายที่มีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กและมีแนวโน้มจับตัวกันเป็นก้อน ดังนั้นขนาดของวัสดุที่เหมาะสมควรมีขนาดเล็กกว่างานวิจัยนี้ เพื่อให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเพิ่มประสิทธิภาพในการผสม

2. การวิจัยนี้ใช้ทรายในสัดส่วนในปริมาณมาก ซึ่งอาจส่งผลให้น้ำหนักและความหนาแน่นของวัสดุซีเมนต์สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอให้ลดปริมาณทรายลง เพื่อลดน้ำหนักและความหนาแน่นปรากฏของแผ่นวัสดุซีเมนต์ ทำให้ได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

3. การวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำในการขึ้นรูป และเศษฝ้ายที่มีสมบัติในการดูดซึมน้ำสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอให้ใช้วัสดุเชื่อมประสานชนิดอื่นที่ไม่ต้องใช้น้ำในการผสมเพื่อลดผลกระทบจากการดูดซึมน้ำของเศษฝ้าย และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตวัสดุผสม

รายการอ้างอิง

- กนกวรรณ มะสุวรรณ. (2556). การพัฒนาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์โดยใช้เส้นใยธรรมชาติเพื่อ
ประสิทธิภาพในการกันเสียง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์].
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). การกำจัดขยะมูลฝอยของประเทศไทย
<http://www.pcd.go.th/publication/8013/>
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2551). ของเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ.
http://www2.diw.go.th/l_Standard/Web/pane_files/Industry9.asp
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2557). การจัดการของเสียตามกฎหมาย.
<https://www.diw.go.th/hawk/default.php>
- ชัชวาล เศรษฐบุตตร. (2544). คอนกรีตเทคโนโลยี. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท ผลิตภัณฑ์และ
วัสดุก่อสร้าง จำกัด.
- ณรงค์ฤทธิ์ พิพัฒน์กิติราช. (2556). คุณสมบัติของซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเกล็ดและเส้นใยพลาสติก PET
รีไซเคิลสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์].
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. (2556). พลาสติกPET.
https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/216_31-34.pdf
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2560). พลาสติก.
<https://www.mtec.or.th/bio-plastic/what-is-plastic/plastic-history.html>
- ไทวัสดุ. (2567). สมาร์ทบอร์ด & ซีเมนต์บอร์ด.
<https://www.thaiwatsadu.com/th/articles/smart-board-vs-cement-board-by-shera>
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. (2562). แผ่นซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ. เอกสาร มอก.
1427-2561. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- วงศ์พานิชย์. (2567). ราคารับซื้อพลาสติก PET.
https://wongpanit.com/print_history_price/2376
- บริษัท จี-ไลน์ บิวดีง กรุ๊ป จำกัด. (2567). หลัังคา uPVC. <https://www.gline.co.th/product-detail/uPVC.html>

- บริษัท บางกอก อินทิเกรเท็ด เทคดิง จำกัด. (2560). *ฉนวนกันความร้อนและคุณสมบัติ*.
<https://www.bitbkk.com>
- Abidi, N., Jayawickrama, P. W., Dassanayake, R. S., & Hettiwatte, M. (2018). Cotton-derived composite materials for climate resilient transportation infrastructure (*Report No. SPTC15.3-03-F*). The University of Oklahoma.
<https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/37001>
- Akcaozoglu, S., Atis, C. D., & Akcaozoglu, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management, 30*(2), 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.033>
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies, 4*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- ASTM. (2008). *ASTM C1185-08 Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles and Clapboards*. ASTM International (ASTM).
- ASTM. (2015). *ASTM C20-00 Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*. West Conshohocken: ASTM International (ASTM).
- Binici, H., & Aksogan, O. (2015). Engineering properties of insulation material made with cotton waste and fly ash. *Journal of Material Cycles and Waste Management, 17*(1), 157–162. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0218-6>
- DURAONE. (2567). *กระเบื้องหลังคาคอนกรีตดูราวัน รุ่นลอนเศรษฐี*.
<https://duraone.co.th/products/concrete-tile-1>
- Engineering ToolBox. (2567). Thermal Conductivity of Metals and Alloys.
https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-metals-d_858.html

- Fraternali, F., Ciancio, A., & Spadea, S. (2014). Mechanical behavior of cement mortars reinforced with recycled nylon fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 268–275. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0218-6>
- Siamcitycement. (2567). *INSEE SUPERBLOCK*.
<https://www.siamcitycement.com/thailand/th/products/detail/insee-superblock>
- Shera board. (2567). *Shera board*. <https://www.shera.com>
- Spadea, S., Farina, I., Carrafiello, A., & Fraternali, F. (2015). Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. *Construction and Building Materials*, 80, 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.075>
- Vivaboard. (2567). *Vivaboard*. <https://www.vivaboard.com>





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางคำนวณราคาวัตถุดิบของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

โดยพิจารณาจากขนาดมาตรฐานของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งมีขนาด 240 x 120 x 1.2 เซนติเมตร หรือคิดเป็นปริมาตร 34,560 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ความหนาแน่นและราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมวัสดุซีเมนต์ดังนี้

ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์	เท่ากับ 2.80 ก./ลบ.ซม.
ความหนาแน่นของทราย	เท่ากับ 2.60 ก./ลบ.ซม.
ความหนาแน่นของพลาสติก PET	เท่ากับ 1.38 ก./ลบ.ซม.
ความหนาแน่นของฝ้าย	เท่ากับ 1.54 ก./ลบ.ซม.
ราคาของปูนซีเมนต์	เท่ากับ 0.00264 บาท/กรัม
ราคาของทราย	เท่ากับ 0.00128 บาท/กรัม
ราคาของพลาสติก PET	เท่ากับ 0.0085 บาท/กรัม
ราคาของเศษฝ้าย	เท่ากับ 0.03 บาท/กรัม

ตารางที่ ก-1

ราคาวัตถุดิบของสัดส่วนผสม C10P0

	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	พลาสติก PET	ฝ้าย	รวม
ปริมาตรต่อหนึ่งแผ่น (ลบ.ซม.)	6210.87	18393.73	8695.22	1739.04	0.00	35038.87
น้ำหนักต่อหนึ่งแผ่น (กรัม)	17390.44	47823.71	8695.22	2399.88	0.00	76309.24
ราคาวัตถุดิบต่อหนึ่งแผ่น (บาท)	45.91	61.21	0.00	20.40	0.00	127.52

รวมราคาวัตถุดิบต่อหนึ่งแผ่นเท่ากับ 127.52 บาท

ตารางที่ ก-2

ราคาวัตถุดิบของสัดส่วนผสม C10P2

	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	พลาสติก PET	ฝ้าย	รวม
ปริมาตรต่อหนึ่งแผ่น (ลบ.ซม.)	6170.55	18274.31	8638.76	1727.75	224.38	35035.76
น้ำหนักต่อหนึ่งแผ่น (กรัม)	17277.53	47513.21	8638.76	2384.30	345.55	76159.35
ราคาวัตถุดิบต่อหนึ่ง แผ่น (บาท)	45.61	60.82	0.00	20.27	10.37	137.06

รวมราคาวัตถุดิบต่อหนึ่งแผ่นเท่ากับ 137.06 บาท

ตารางที่ ก-3

ราคาวัตถุดิบของสัดส่วนผสม C15P0

	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	พลาสติก PET	ฝ้าย	รวม
ปริมาตรต่อหนึ่งแผ่น (ลบ.ซม.)	6099.66	18064.39	8539.53	2561.86	0.00	35265.44
น้ำหนักต่อหนึ่งแผ่น (กรัม)	17079.06	46967.41	8539.53	3535.36	0.00	76121.36
ราคาวัตถุดิบต่อหนึ่ง แผ่น (บาท)	45.09	60.12	0.00	30.05	0.00	135.26

รวมราคาวัตถุดิบต่อหนึ่งแผ่นเท่ากับ 135.26 บาท

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบความหนาแน่นปรากฏของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

ตารางที่ ข-1

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม POC0 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1741.7	1738.2	1740.9	1740.27
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2089.7	2090.4	2090.2	2090.10
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1326.7	1325.3	1326.5	1326.17

ตารางที่ ข-2

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม POC2 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1730.8	1725.5	1723.6	1726.63
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2105.3	2105.1	2104.8	2105.07
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1276.4	1276.2	1275.8	1276.13

ตารางที่ ข-3

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม POC4 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1692.1	1657.2	1703.4	1684.23
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2118.2	2110.8	2120.3	2116.43
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1268.1	1257.8	1268.5	1264.80

ตารางที่ ข-4

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม POC6 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1641.7	1643.7	1638.4	1641.27
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2120.7	2121.3	2122.1	2121.37
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1248.8	1249.7	1250.9	1249.80

ตารางที่ ข-5

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P5C0 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1652.1	1702.7	1686.3	1680.37
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2088.7	2098.9	2092.2	2093.27
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1308.5	1321.7	1313.7	1314.63

ตารางที่ ข-6

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P5C2 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1693.2	1715.2	1698.5	1702.30
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2098.8	2115.3	2103.5	2105.87
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1278.5	1301.1	1289.1	1289.57

ตารางที่ ข-7

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P5C4 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1693.7	1652.1	1681.8	1675.87
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2122.2	2105.7	2112.1	2113.33
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1285.3	1268.1	1273.5	1275.63

ตารางที่ ข-8

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P5C6 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1657.7	1612.2	1653.9	1641.27
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2135.2	2110.8	2122.3	2122.77
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1273.2	1223.8	1253.1	1250.03

ตารางที่ ข-9

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P10C0 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1703.9	1682.6	1692.5	1693.00
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2097.5	2093.8	2095.5	2095.60
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1310.8	1306.9	1308.5	1308.73

ตารางที่ ข-10

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P10C2 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1693.2	1685.2	1678.5	1685.63
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2118.2	2110.8	2105.5	2111.50
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1298.4	1288.4	1279.8	1288.87

ตารางที่ ข-11

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P10C4 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1683.7	1652.1	1651.8	1662.53
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2126.1	2117.5	2120.1	2121.23
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1273.2	1267.1	1258.7	1266.33

ตารางที่ ข-12

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P10C6 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1619.2	1655.3	1620.7	1631.73
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2115.2	2135.7	2125.1	2125.33
มวลทดสอบเมื่อซังในน้ำ (กรัม)	1247.8	1265.3	1255	1256.03

ตารางที่ ข-13

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P15C0 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1617.8	1632.5	1642.1	1630.80
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2095.7	2105.3	2100.2	2100.40
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1305.3	1298.7	1305.1	1303.03

ตารางที่ ข-14

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P15C2 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1615.7	1618.6	1645.5	1626.60
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2112.2	2108.3	2106.7	2109.07
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1278.2	1275	1273.8	1275.67

ตารางที่ ข-15

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P15C4 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1610.3	1630.3	1620.5	1620.37
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2117.3	2118.8	2118.2	2118.10
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1260.5	1268.1	1264.7	1264.43

ตารางที่ ข-16

การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของลัดส่วนผสม P15C6 ตัวอย่างละ 3 ซีน

POC0	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
มวลทดสอบเมื่ออบแห้ง (กรัม)	1612.7	1613.2	1612.9	1612.93
มวลทดสอบเมื่ออิมตัวด้วยน้ำ (กรัม)	2123.2	2128.1	2124.8	2125.37
มวลทดสอบเมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)	1249.8	1250.2	1250.1	1250.03

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบกำลังอัดของวัสดุซีเมนต์

ตารางที่ ค-1

การทดสอบกำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายที่ 7 วัน สัดส่วนผสมละ 3 ชั้น

สัดส่วนผสม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
P0C0	25.7	26.1	25.1	25.6	0.5
P0C2	16.8	17.2	17.6	17.2	0.4
P0C4	14.5	15.1	15.7	15.1	0.6
P0C6	13.7	13.9	14.1	13.9	0.2
P5C0	16.3	16.6	16.9	16.6	0.3
P5C2	14.8	15	15.2	15.0	0.2
P5C4	13.5	13.9	14.3	13.9	0.4
P5C6	12	12.3	12.6	12.3	0.3
P10C0	14.9	15.4	15.9	15.4	0.5
P10C2	13.2	13.8	14.4	13.8	0.6
P10C4	12.3	12.8	13.3	12.8	0.5
P10C6	11.6	12	12.4	12.0	0.4
P15C0	12.9	13.1	13.3	13.1	0.2
P15C2	12.2	12.5	12.8	12.5	0.3
P15C4	11.9	12.3	12.7	12.3	0.4
P15C6	11.4	11.6	11.8	11.6	0.2

ตารางที่ ค-2

การทดสอบกำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายที่ 14 วัน สัดส่วนผสมละ 3 ชั้น

สัดส่วนผสม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
P0C0	33.5	33.8	34.1	33.8	0.3
P0C2	22.4	22.6	22.8	22.6	0.2
P0C4	19.3	19.8	20.3	19.8	0.5
P0C6	18.1	18.3	18.5	18.3	0.2
P5C0	21.5	21.8	22.1	21.8	0.3
P5C2	19.5	19.7	19.9	19.7	0.2
P5C4	17.8	18.2	18.6	18.2	0.4
P5C6	15.8	16.1	16.4	16.1	0.3
P10C0	19.7	20.2	20.7	20.2	0.5
P10C2	17.8	18.1	18.4	18.1	0.3
P10C4	16.2	16.7	17.2	16.7	0.5
P10C6	15.3	15.7	16.1	15.7	0.4
P15C0	16.9	17.1	17.3	17.1	0.2
P15C2	16	16.3	16.6	16.3	0.3
P15C4	15.9	16.1	16.3	16.1	0.2
P15C6	14.8	15.1	15.4	15.1	0.3

ตารางที่ ค-3

การทดสอบกำลังอัดของวัสดุซีเมนต์ผสมพลาสติก PET และเศษฝ้ายที่ 28 วัน สัดส่วนผสมละ 3 ชั้น

สัดส่วนผสม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
P0C0	41.1	40.9	41.0	41.0	0.1
P0C2	26.8	27	27.2	27.0	0.2
P0C4	23.2	23.5	23.8	23.5	0.3
P0C6	21.4	21.6	21.8	21.6	0.2
P5C0	25.6	26	26.4	26.0	0.4
P5C2	23.2	23.4	23.6	23.4	0.2
P5C4	21.1	21.5	21.9	21.5	0.4
P5C6	18.7	18.9	19.1	18.9	0.2
P10C0	23.8	24.1	24.4	24.1	0.3
P10C2	20.9	21.3	21.7	21.3	0.4
P10C4	19.5	19.7	19.9	19.7	0.2
P10C6	18	18.3	18.8	18.4	0.4
P15C0	20	20.2	20.4	20.2	0.2
P15C2	18.8	19.2	19.6	19.2	0.4
P15C4	18.5	18.9	19.3	18.9	0.4
P15C6	17.2	17.7	18.2	17.7	0.5

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

ตารางที่ ง-1

ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมพลาสติก PET และเศษฝ้าย
ตัวอย่างละ 3 ชิ้น โดยทดสอบชิ้นละ 2 ครั้ง

สัดส่วนผสม	ตัวอย่างที่ 1-1	ตัวอย่างที่ 1-2	ตัวอย่างที่ 2-1	ตัวอย่างที่ 2-2	ตัวอย่างที่ 3-1	ตัวอย่างที่ 3-2	ค่าเฉลี่ย	S.D.
P0C0	5.5	5.7	5.6	5.7	5.7	5.6	5.6	0.1
P0C2	5.4	5.8	5.6	5.8	5.7	5.6	5.6	0.2
P0C4	5.5	5.9	5.7	5.9	5.8	5.7	5.7	0.2
P0C6	5.3	6.1	5.6	6.1	5.9	5.8	5.7	0.3
P5C0	6.0	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.1	0.1
P5C2	5.7	6.1	5.9	6.1	6.0	5.9	5.9	0.2
P5C4	5.7	5.9	5.8	5.9	5.9	5.8	5.8	0.1
P5C6	5.3	6.1	5.6	6.1	5.9	5.8	5.7	0.3
P10C0	7.0	7.4	7.2	7.4	7.3	7.2	7.2	0.2
P10C2	6.6	7.4	6.9	7.4	7.2	7.1	7	0.3
P10C4	6.7	6.9	6.8	6.9	6.9	6.8	6.8	0.1
P10C6	6.4	6.8	6.6	6.8	6.7	6.6	6.6	0.2
P15C0	6.8	7.2	7.0	7.2	7.1	7.0	7	0.2
P15C2	6.4	7.2	6.7	7.2	7.0	6.9	6.8	0.3
P15C4	6.4	6.8	6.6	6.8	6.7	6.6	6.6	0.2
P15C6	6.1	6.9	6.4	6.9	6.7	6.6	6.5	0.3

ภาคผนวก จ
ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ จ-1

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของสัดส่วนผสม POCO ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

สัดส่วนผสม POCO					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.08	40	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.59	0.59	0.00
			0.59		
			0.59		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.348	0.346	0.002
			0.344		
			0.345		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.708	1.716	0.006
			1.720		
			1.719		

ตารางที่ จ-2

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม POC2 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม POC2					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.54	0.54	0.01
			0.53		
			0.54		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.311	0.295	0.015
			0.281		
			0.293		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.742	1.820	0.073
			1.888		
			1.830		

ตารางที่ จ-3

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม POC4 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม POC4					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.08	40	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.58	0.57	0.00
			0.57		
			0.57		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.399	0.387	0.011
			0.383		
			0.379		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.446	1.481	0.031
			1.494		
			1.503		

ตารางที่ จ-4

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม POC6 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม POC6					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.58	0.58	0.00
			0.58		
			0.57		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.298	0.277	0.020
			0.274		
			0.258		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.948	2.091	0.135
			2.111		
			2.215		

ตารางที่ จ-5

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P5C0 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P5C0					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.56	0.55	0.01
			0.54		
			0.55		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.429	0.340	0.078
			0.283		
			0.309		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.307	1.658	0.311
			1.901		
			1.766		

ตารางที่ จ-6

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P5C2 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P5C2					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.57	0.55	0.02
			0.54		
			0.53		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.387	0.289	0.085
			0.249		
			0.231		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.485	1.989	0.440
			2.182		
			2.299		

ตารางที่ จ-7

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P5C4 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P5C4					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.54	0.53	0.01
			0.53		
			0.52		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.351	0.308	0.041
			0.305		
			0.296		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.485	1.740	0.187
			2.182		
			2.299		

ตารางที่ จ-8

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P5C6 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

ลัดส่วนผสม P5C6					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	40	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.53	0.52	0.01
			0.51		
			0.52		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.427	0.353	0.064
			0.310		
			0.322		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.245	1.505	0.226
			1.657		
			1.614		

ตารางที่ จ-9

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P10C0 ตัวอย่างละ 3 ชั้น

ลัดส่วนผสม P10C0					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.64	0.62	0.01
			0.62		
			0.61		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.444	0.356	0.078
			0.325		
			0.298		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.434	1.797	0.324
			1.900		
			3.056		

ตารางที่ จ-10

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P10C2 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P10C2					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.57	0.56	0.00
			0.56		
			0.56		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.373	0.344	0.026
			0.322		
			0.337		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.514	1.636	0.111
			1.732		
			1.661		

ตารางที่ จ-11

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P10C4 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P10C4					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.07	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.52	0.51	0.01
			0.51		
			0.51		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.343	0.310	0.029
			0.296		
			0.291		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.523	1.661	0.120
			1.715		
			1.745		

ตารางที่ จ-12

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P10C6 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P10C6					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.08	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.54	0.54	0.01
			0.55		
			0.53		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.280	0.286	0.024
			0.313		
			0.267		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.930	1.896	0.123
			1.760		
			2.000		

ตารางที่ จ-13

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P15C0 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P15C0					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.08	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.56	0.56	0.00
			0.56		
			0.57		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.384	0.346	0.025
			0.338		
			0.378		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.468	1.540	0.099
			1.653		
			1.498		

ตารางที่ จ-14

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P15C2 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P15C2					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.08	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.50	0.50	0.00
			0.50		
			0.50		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.342	0.343	0.007
			0.350		
			0.336		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.453	1.453	0.025
			1.428		
			1.478		

ตารางที่ จ-15

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P15C4 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P15C4					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.08	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.48	0.48	0.00
			0.48		
			0.48		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.352	0.329	0.021
			0.317		
			0.317		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	1.378	1.463	0.078
			1.507		
			1.509		

ตารางที่ จ-16

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของลัดส่วนผสม P15C6 ตัวอย่างละ 3 ชิ้น

ลัดส่วนผสม P15C6					
เงื่อนไขการทดสอบ		สมบัติทางความร้อน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย	S.D.
กำลัง(W)	เวลา(s)				
0.08	80	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	0.55	0.53	0.00
			0.52		
			0.52		
		สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (mm ² /s)	0.235	0.206	0.025
			0.188		
			0.194		
		ความร้อนจำเพาะ (MJ/m ³ K)	2.353	2.606	0.222
			2.769		
			2.697		